



Voir et concevoir : les théâtres de machines (XVI^e-XVIII^e siècle).

Benjamin Ravier

► To cite this version:

Benjamin Ravier. Voir et concevoir : les théâtres de machines (XVI^e-XVIII^e siècle).. Histoire. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2013. Français. NNT : 2013PA010643 . tel-01244041

HAL Id: tel-01244041

<https://theses.hal.science/tel-01244041>

Submitted on 15 Dec 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

École doctorale d'histoire (ED 113)

Centre d'histoire des techniques (CH2ST / EA 127 « Modernités et révolutions »)

Doctorat en histoire moderne

Benjamin Ravier

Voir et concevoir : les théâtres de machines (XVI^e-XVIII^e siècle)

Tome 1 : texte



*Thèse dirigée par Mme Anne-Françoise Garçon, professeur,
Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne*

soutenue le 12 septembre 2013

Jury :

M. Pascal Briost, professeur, Université François Rabelais, Tours

M. Jean-Luc Chappey, maître de conférences habilité à diriger des
recherches, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

M. Pascal Dubourg-Glatigny, chargé de recherche, Centre Alexandre
Koyré, CNRS

Mme Hélène Vérin, chargée de recherche, Centre Alexandre Koyré, CNRS

M. Jakob Vogel, professeur, Centre d'histoire de Sciences Po, FNSP

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mon épouse, Marion Ravier-Mazzocco, pour m'avoir soutenu pendant ces quatre années faites d'aller-retour, de doutes et de travail. Arrivée récemment, je remercie aussi ma fille Rose, qui semble avoir deviné que son père avait besoin de concentration pour la rédaction de sa thèse, et qui a su m'accorder un environnement sonore finalement assez calme.

Je souhaite remercier Anne-Françoise Garçon, ma directrice de thèse, qui m'a souvent aidé à clarifier mes idées et à conceptualiser mes hypothèses. À travers elle, je remercie aussi le secrétariat et l'ensemble des membres, étudiants, associés et fidèles du centre d'histoire des techniques, de ses séminaires, de ses masterclass, de ses cours. J'ai trouvé ici un lieu organisé et propice au développement de mes nombreux projets. J'ai aussi et surtout trouvé un lieu de partage qui m'a permis d'ouvrir mon horizon intellectuel et de discuter mes hypothèses. Je remercie tout particulièrement Bernard Delaunay pour les riches et longs échanges que nous avons eus sur nos sujets de thèses respectifs.

Je remercie vivement Daniel Regnier-Roux, dont les conseils prodigués lors de trop rares rencontres n'ont jamais été oubliés.

Je remercie aussi Delphine Bordier, Pierre Mazzocco, Mathilde Marduel pour leur aide à la compréhension, voire la traduction des textes italiens ; ainsi que Julie Girard pour la traduction de la dédicace espagnole du livre de Jacques Besson ; je remercie aussi Liliane Klein pour sa traduction des textes liminaires du livre d'Andréas Böckler. Sans eux, ma thèse aurait sans doute été beaucoup plus longue et plus difficile.

Je remercie aussi l'ensemble des personnels et des conservateurs des divers fonds anciens de bibliothèques visités, notamment Yves-Jocteur Montrozier (BM Lyon), Catherine Masteau (école des Ponts), Marie-Christine Thooris (école Polytechnique), Marie-Noëlle Maisonneuve (école des Mines de Paris), et le conservateur du fond ancien de la bibliothèque de l'école des Mines de Mexico.

Qu'il me soit aussi permis de remercier ici l'ensemble de mes amis et de ma famille et particulièrement ceux qui m'ont accueillis lors de mes fréquents séjours à Paris.

Introduction

« Les machines n'ont jamais eu le même statut épistémologique
que les procédés techniques des métiers. »

Jean-Pierre Séris, *Machine et communication*, Librairie philosophique J. Vrin, 1987

L'histoire des techniques a longtemps souffert d'une vision centrée sur l'invention entendue comme nouveauté et innovation¹ ; et l'histoire des machines, inventions par excellence, plus encore que les autres. Dans ces histoires, les théâtres de machines ont toujours eu une place, et l'historiographie s'y rattachant est aussi ancienne que l'histoire des techniques elle-m  me². Théodor Beck, ingénieur allemand enseignant à Darmstadt, en 1899, leur accordait déjà une grande place dans son *Introduction à l'histoire de la construction des machines*³, qui analyse les œuvres de divers « inventeurs » de Héron d'Alexandrie    James Watt. En s'attardant peu sur les contextes différents et la vie des auteurs, il décrit chaque invention, en insistant sur les nouveautés introduites et les emprunts réalisés. De façon similaire, en 1914, dans son *Lexicon*, Franz-Maria Feldhaus⁴ utilise autant de photographies d'objets que d'images tirées des ouvrages de Zonca, Veranzio ou Strada, et rédige leurs biographies, ainsi que celles de Jacques Besson, Agostino Ramelli ou Giovanni Branca, dont il fait un précurseur de la machine à vapeur. Un peu plus tard, le troisième tome de l'*Histoire des techniques* de Charles Singer⁵ cite encore quelques théâtres de machines, mais de moins en moins souvent. Dans ces premières recherches, il apparaît rapidement aux

¹ David EDGERTON, *Quoi de neuf ? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*, Paris, Seuil, coll. « L'univers historique », 2013, 315 p.

² Précisons tout de suite qu'il n'est jamais question ici de machines de théâtres. L'expression « théâtre de machines » désigne un ensemble de livres donnant à voir des machines de construction, d'adduction d'eau, de meunerie ou de manufacture.

³ Traduction littérale du titre de Theodor BECK, *Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues*, Berlin, Springer, 1899.

⁴ Franz Maria FELDHAUS, *Die Technik der Vorzeit : der geschichtlichen Zeit und der Naturv  lker*, Leipzig, W. Engelmann, 1914.

⁵ Charles SINGER, Eric John HOLMYARD, Alfred Rupert HALL et E. J. HOLMYARD, *A History of technology, from Renaissance to the industrial revolution, 1500-1750*, Oxford, University Press, 1957. Pour le monde anglo-saxon, citons encore Abbott Payson USHER, *A history of mechanical inventions*, New York, McGraw-Hill Book Co., 1929.

historiens des techniques que ces ouvrages de la fin de la Renaissance n'apportent pas de grandes innovations techniques.

L'historiographie en vient donc à considérer ces auteurs comme des plagiaires ; une accusation qui courtencore dans les années 1960 et 1970 sous la plume de Ladislao Reti⁶. La période demeure pourtant riche de recherches sur ce corpus : la revue *Technology and Culture* (T&C) lui consacre de nombreux articles⁷. Conscients des « plagats » et de l'intérêt limité des ouvrages pour une histoire technique des techniques, les auteurs raisonnent alors en termes de filiation, de passage, de transmission, et s'interrogent sur les motivations des différents auteurs. De nombreuses recherches biographiques sont alors effectuées et les contextes de publication s'éclaircissent. Leurs liens avec la révolution scientifique, l'émergence du machinisme et la culture baroque sont mis en avant⁸. Dans une histoire pensée à travers le prisme du progrès, les théâtres de machines apparaissent comme des « relais », dans une histoire plus longue débutant à la fin du Moyen Âge, et qui se termine avec Franz Reuleaux. L'expression de « relai » est de Bertrand Gille qui lance en France des études similaires sur les théâtres de machines : l'année universitaire 1977-1978 de son programme de conférences en histoire des techniques à la quatrième section de l'EPHE leur est entièrement consacrée⁹. Chaque auteur y est constamment jugé dans sa relation avec ses prédécesseurs : « Besson est sans doute de tous les auteurs de théâtres de machines celui qui a le moins pillé ses prédécesseurs ». Dans cette histoire longue, il est intéressant de noter que B. Gille utilise l'expression de « théâtres de machines » pour qualifier toute la littérature mécanique du Moyen Âge aux *Descriptions*

⁶ Ladislao RETI, « Francesco di Giorgio Martini's Treatise on Engineering and Its Plagiarists », *T&C*, Summer 1963, vol. 4, n° 3, pp. 287-298 ; Ladislao RETI et Juanelo TURRIANO, « The Codex of Juanelo Turriano (1500-1585) », *T&C*, Janvier 1967, vol. 8, n° 1, pp. 53-66 ; Ladislao RETI, « The Double-Acting Principle in East and West », *T&C*, Avril 1970, vol. 11, n° 2, pp. 178-200 ; Ladislao RETI, « Leonardo and Ramelli », *T&C*, Octobre 1972, vol. 13, n° 4, pp. 577-605.

⁷ Citons à titre d'exemple : Edwin A. BATTISON, « Stone-Cutting and Polishing Lathe, by Jacques Besson », *T&C*, Spring 1966, vol. 7, n° 2, pp. 202-205 ; Natalie ZEMON DAVIS, « The Protestantism of Jacques Besson », *T&C*, Autumn 1966, vol. 7, n° 4, p. 513 ; Bert S. HALL, « A Revolving Bookcase by Agostino Ramelli », *T&C*, Juillet 1970, vol. 11, n° 3, pp. 389-400 ; Eugene S. FERGUSON, « Leupold's « Theatrum Machinarum »: A Need and an Opportunity », *T&C*, Janvier 1971, vol. 12, n° 1, pp. 64-68 ; Alexander Gustav KELLER, « The Missing Years of Jacques Besson, Inventor of Machines, Teacher of Mathematics, Distiller of Oils, and Huguenot Pastor », *T&C*, Janvier 1973, vol. 14, n° 1, pp. 28-39 ; Martha Teach GNUDI, « Agostino Ramelli and Ambroise Bachot », *T&C*, Octobre 1974, vol. 15, n° 4, pp. 614-625.

⁸ Alexander Gustav KELLER, *A Theatre of machines*, London, Chapman & Hall, 1964.

⁹ Bertrand GILLE, « Histoire des techniques. Compte-rendu des conférences de 1977-78. », *École pratique des hautes études. 4e section, Sciences historiques et philologiques*, 1978, vol. 110, n° 1, pp. 795-833.

des arts et métiers et à l'*Encyclopédie*¹⁰, qu'il considère comme « les derniers grands théâtres de machines »¹¹.

L'importance des théâtres de machines est alors reconnue comme « relai » dans une histoire globale des inventions. Il restait à donner une raison à leur publication. Pour l'historiographie francophone, elle est simple : ces livres de machines sont des livres de divertissement. François Russo expliquait ainsi dans un article de 1948 que ces ouvrages « étaient conçus plus pour l'émerveillement, pour l'art, que pour la technique ». Une position reprise par Bertrand Gille dans son *Histoire des techniques*¹². Le divertissement serait l'objectif premier de ces machines. Pour Alexander Gustav Keller cependant, le sens de cette tradition dépasse cette notion d'émerveillement. Les théâtres de machines seraient les témoins d'une prise de conscience de la puissance de l'artifice, de la puissance technique dont dispose l'homme : « Nous ne devons pas supposer que les inventions dessinées dans ces livres sont en elles-mêmes révolutionnaires. Ce qui importe n'est pas tant de faire quelque chose que de le faire consciemment et de voir où cela mène. »¹³. Pour l'historien britannique, cette prise de conscience s'accompagne de recherches sur certains mécanismes et certaines combinaisons par des auteurs qui ne décrivent pas ce qui est existant, comme les traités techniques de la même période, mais imaginent ce qui pourrait exister dans le futur. Ces deux lectures française et anglo-saxonne, plus complémentaires qu'antagonistes, demeurent celles des historiens des techniques jusqu'au début des années 2000, et transparaissent dans les nombreux fac-similés réalisés dans les années 1970 et 1980.

Par ailleurs, en lançant des études sur la représentation des machines, Yves Deforge ajoute à cette historiographie « classique » l'idée que les théâtres de machines participent, au fur et à mesure de leur évolution, à l'élaboration d'un graphisme

¹⁰ *Descriptions des arts et métiers, faites ou approuvées par Messieurs de l'Académie royale des sciences de Paris*, Neufchatel, Calixte Volland, 1771 ; Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *L'Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des arts et métiers*, Paris, Briasson, 1751.

¹¹ Bertrand GILLE, « Compte-rendu des conférences... », *op. cit.*

¹² *Ibid.*

¹³ Alexander Gustav KELLER, *A Theatre of machines*, *op. cit.*, "Introduction". Texte original : "We must not suppose that the invention depicted in these books were themselves very revolutionary. The important thing is not so much to do something as to do it consciously and to see where it is leading to."

technique particulier¹⁴. L'idée de filiation depuis Vinci ou les ingénieurs de la Renaissance italienne est encore avancée.

En 1987, Jean-Pierre Sérís, dans un ouvrage malheureusement trop peu connu¹⁵, est sans doute celui qui parvient le mieux à articuler l'ensemble de cet héritage. Pour lui, l'idée principale de cette tradition est de lever le secret sur les machines, tout en le conservant, de montrer en cachant, de mettre en scène le merveilleux de l'effet, tout en donnant quelques principes et explications simples : « Le secret libéralement dévoilé ne garde tout son prix que par l'écart inscrit entre le principe élémentaire et l'application inattendue. Le mérite de l'auteur et le plaisir du lecteur se mesurent à l'amplitude de cet écart. ». La nécessité d'une présentation clarifiée de cet effet conduit à l'évolution des modes de représentations. Toutes les approches précédentes sont englobées dans cette explication autour du secret des machines.

Cela amène Jean-Pierre Sérís à des pistes intéressantes. Il rappelle d'abord que le mot « théâtre » désigne un genre plus large fondé justement sur le dévoilement et la monstration. Il explique ensuite que cette levée du secret a partie liée avec la protection de l'invention : « le seul moyen de garantir leurs droits de façon irrécusable, c'est justement la publication ! ». Il note, à cette occasion, la tension entre le nouveau et l'ancien, entre les multiples adaptations et le poids de traditions remontant à l'Antiquité¹⁶. Enfin et surtout, il montre comment ce spectacle est le résultat d'une pratique et d'une spéculation d'une part, et d'un *ingenium* et d'un *studium* d'autre part. Les auteurs de ces ouvrages s'appuient en effet sur une science des forces mouvantes, la travaille, et s'ingénient à en montrer tous les effets possibles, notamment les plus spectaculaires. Cependant Sérís insiste sur l'aspect par trop géométrique des « raisons » avancées par les ingénieurs : « "raison" est synonyme de "proportion" [...] Justifié et garanti par de savantes proportions, l'effet ne s'affranchit jamais de sa composante spectaculaire : c'est la réussite, psychologique et matérielle, d'un

¹⁴ Yves DEFORGE, *Le graphisme technique : son histoire et son enseignement*, Seyssel, Champ Vallon, coll. « Collection Milieux », 1981, 256 p.

¹⁵ Jean-Pierre SERIS, *Machine et communication : du théâtre des machines à la mécanique industrielle*, Paris, J. Vrin, coll. « L'Histoire des sciences, textes et études », 1987, 494 p. Cet excellent ouvrage, mal édité (les coquilles sont nombreuses) et peu diffusé, mériterait une réédition. Il fonde une histoire intellectuelle de la mécanique.

¹⁶ *Ibid.* p. 19 : « En [ce genre] converge trois traditions distinctes : celles des ingénieurs de la Renaissance [...], celle des carnets d'ingénieurs et d'architectes médiévaux [...], et enfin la tradition antique, archimédienne. »

artifice. »¹⁷. Cette position sur la validité des principes théoriques des auteurs s'explique par une insistance renouvelée sur la rupture que constitue le milieu du XVII^e siècle dans la pensée mécanique, quand « les machines quittent, brusquement et pour toujours, la scène féerique de ce théâtre. »¹⁸.

Le principal tort de cette historiographie est de n'avoir jamais réussi à se départir d'un regard trop utilitariste des théâtres de machines. Sources pour des histoires de l'invention ou des savoirs mécaniques, jamais les livres n'ont été interrogés pour ce qu'ils étaient, ou alors, leur aspect spectaculaire a masqué leur rôle dans l'histoire de la mécanique et des ingénieurs. Sources d'autres histoires, leur histoire n'avait jamais été faite. Il serait vain de rejeter tous les résultats de cette historiographie somme toute chargée, car de nombreuses remarques judicieuses ont pu être faites ; mais force nous est de constater que les recherches sur cette tradition n'ont jamais donné les résultats espérés : peu d'innovation, des machines sinon irréalisables du moins inefficaces, une science déjà dépassée à l'époque de la rédaction des ouvrages. Il était alors nécessaire de revoir les présupposés même de ces histoires, de désamorcer les critiques et de faire l'histoire des théâtres de machines avec le moins d'*a priori* possible.

C'est à Louisa Dolza et Hélène Vérin qu'il a appartenu de renouveler complètement l'analyse des théâtres de machines. Le marqueur en est la publication, en 2001, d'un fac-simile du *Théâtre des instruments mathématiques et mécaniques* de Jacques Besson, avec une introduction des deux historiennes¹⁹. Les auteures reviennent sur l'ensemble des critiques faites aux théâtres de machines : érudite sur le plagiat, technique sur la validité de leur fonctionnement et la possibilité de leur réalisation, scientifique sur la mauvaise compréhension de la science mécanique. En rappelant le sens de l'invention à la Renaissance²⁰, elles montrent l'incompréhension des historiens

¹⁷ *Ibid.* p. 32-33.

¹⁸ Nous sommes d'accord avec Jean-Pierre Séris pour dire que "quelque chose change" dans la représentation de la mécanique à partir de 1650. Les premiers projets de description des métiers et de leurs machines apparaissent, la science mécanique pousse des recherches en physique, et petit à petit s'élabore une pensée technologique qui trouve à se concrétiser dans la description des machines avant celle des métiers. Pour autant, contrairement à ce que dit J-P. Séris, nous verrons que les théâtres de machines accompagnent largement ce changement de paradigme.

¹⁹ Luisa DOLZA et Hélène VÉRIN (dirs.), *Il Theatrum instrumentorum et machinarum di Jacques Besson (Lione 1578)*, Roma, Edizioni dell'Elefante, 2001. Une grande partie du texte d'introduction sera traduit et publié dans Luisa DOLZA et Hélène VÉRIN, « Figurer la mécanique: l'énigme des théâtres de machines de la Renaissance », *Revue d'histoire moderne et contemporaine* (1954-), Juin 2004, vol. 51, n° 2, pp. 7- 37.

²⁰ C'est-à-dire l'invention comme découverte et mise au jour d'un secret, comme éclaircissement d'une connaissance obscure. Voir *infra* « Inventer à la Renaissance », p. 217.

face à une pensée qui n'était pas assez contextualisée. Sur cette base, elles cosignent en 2002, un article qui revient sur les objectifs des théâtres de machines²¹. Elles montrent ainsi la conjonction de la redécouverte des textes techniques antiques, d'un intérêt renouvelé des princes pour la mécanique, et de l'émergence d'un esprit protestant d'utilité qui favorise l'émergence du genre²². Elles montrent surtout combien il s'agit d'abord de montrer, de rendre compte de l'*ingenium*, de cette faculté inventive qui donne sens au statut des ingénieurs. Les deux historiennes proposaient alors un programme qui pourrait venir compléter leurs approches et que nous résumerons ainsi : une histoire contextualisée de l'écriture et de l'émergence des théâtres de machines ; une histoire sociale et religieuse de leurs auteurs ; une histoire intellectuelle fondée sur l'analyse des caractéristiques formelles et l'agencement interne de chaque ouvrage (contre le dépeçage systématique d'une histoire des inventions) ; une histoire de la réception des livres.

D'une certaine façon, cette thèse est une réponse à ce programme, tout en l'élargissant. Outre les nombreuses pistes proposées par Mmes Vérin et Dolza, nous avons en effet fondé notre travail sur deux piliers, qui fondent notre réflexion, à partir de quoi toutes nos observations prennent sens.

Le premier est le questionnement de la notion de genre. Il va désormais de soi qu'un corpus - aux contours assez flous - de livres présentant des tours, treuils, grues, pompes et moulins divers, soient réunis sous l'expression de « théâtres de machines », alors même qu'une minorité des ouvrages souvent étudiés sous ce nom se nomme réellement ainsi. Cela vient de ce que très tôt, ces ouvrages sont englobés dans un même *genre*. Qu'est-ce qu'un genre ? C'est un système de conventions littéraires²³ qui permet à l'auteur de susciter et de répondre à des attentes. Il faut alors définir ces conventions, ces caractères génériques. Pour notre part, nous dirons que les théâtres de machines sont des livres imprimés, présentant des séries de gravures d'instruments et de machines.

²¹ Luisa DOLZA et Hélène VERIN, « Une mise en scène de la technique : les théâtres de machines », *Alliage*, 2002, n° 50-51.

²² Cette dimension est surtout développée dans Luisa DOLZA, *A gloria di Dio, a beneficio degli studiosi e servizio di vostra altezza: i primi teatri di macchine nella cultura del tardo Cinquecento*, Università degli studi, Florence, 1999.

²³ Antoine COMPAGNON, *La notion de genre*, <http://www.fabula.org/compagnon/genre.php>, consulté le 2 mai 2013.

Cette définition *a minima*, qui restera la nôtre, limite le corpus étudié aux ouvrages imprimés. Si les liens sont évidents avec la littérature mécanique médiévale, l'expression de théâtres de machines, née en 1578, ne nous semble pas pouvoir s'appliquer rétrospectivement à la littérature manuscrite médiévale. Malgré une diffusion désormais bien admise des manuscrits, accessible dans de grandes bibliothèques ouvertes à certains publics, et copiés de nombreuses fois²⁴, leur impact est sans commune mesure avec celle des livres imprimés à la fin du XVI^e siècle. Plus encore : d'emblée, les théâtres de machines ont été pensés pour l'imprimé, pensés pour un public plus élargi que celui des cours princières de l'Italie du Nord. De même, le caractère sériel de présentation placé dans notre définition exclut tous les traités spécialisés comme le *De Re Metallica* d'Agricola ou la *Pyrotechnia* de Biringuccio²⁵, car l'idée de ces traités n'est pas tant de montrer des séries de machines, que de montrer celles nécessaires à l'exercice d'une activité. Cela exclut aussi les traités de mathématiques divers, quand bien même ils comprendraient des instruments²⁶.

Cependant, beaucoup d'ouvrages qui ne sont pas habituellement considérés comme des théâtres de machines seraient inclus dans ce corpus avec une définition si large. Ainsi de la *Technica curiosa* du jésuite Gaspar Schott²⁷, considérée comme une description du cabinet du père Athanase Kircher à Rome, ou même de la description du cabinet de Nicolas Grolier de Servières²⁸, voire, comme Bertrand Gille le fait, les *Descriptions* de l'Académie des sciences ou les volumes de planches de l'*Encyclopédie* dans la liste²⁹. Nous pourrions d'ailleurs ajouter à la liste certaines éditions de textes antiques, comme le dixième livre du *De Architectura* de Vitruve³⁰, qui présente des

²⁴ Paolo GALLUZZI, *Les Ingénieurs de la Renaissance de Brunelleschi à Léonard de Vinci.*, Florence, Giunti, 1995, 250 p ; Pascal BRIOIST, « La diffusion de l'innovation technique entre XVe et XVIe siècle : le cas Léonard de Vinci », *e-Phaistos*, Juin 2013, II, n° 1.

²⁵ Georg AGRICOLA, *De re metallica libri XII: Eiusdem de animantibus subterraneis liber.*, Bâle, Froben, 1556 ; Vanoccio BIRINGUCCIO, *De La Pirotechnia: Libri. X.*, Venise, Navo, 1540.

²⁶ Contentons-nous pour cette introduction du sens commun des mots de machines (ensemble complexe permettant la réalisation d'un effet) et instruments (objet destiné à réaliser une opération simple). Pour aller plus loin concernant les différents sens de « machine » et « instrument » à la Renaissance, nous renvoyons à Pascal DUBOURG GLATIGNY, « Mécaniser la perspective : les instruments entre pratique et spéculation », *e-Phaistos*, Juin 2013, II, n° 1. Voir aussi *infra* « La mission des ingénieurs », p. 197.

²⁷ Gaspar SCHOTT, *Gasparis Schotti technica curiosa: sive mirabilia artis, libris XII*, Nuremberg, Endter, 1664. À bien des égards, la *Technica curiosa* et d'autres ouvrages similaires répondent davantage à la vision de livres de divertissement que les théâtres de machines.

²⁸ Gaspard II GROLLIER DE SERVIÈRES, *Recueil d'ouvrages curieux de mathématique et de mécanique; ou, Description du cabinet de Monsieur Grolier de Servière.*, Lyon, D. Forey, 1719.

²⁹ *Descriptions des arts et métiers*, *op. cit.* ; Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *L'Encyclopédie*, *op. cit.*

³⁰ Daniele BARBARO (dir.), *I Dieci libri dell'Architettura di M. Vitruvio tradutti et commentati da Monsignor Barbaro*,

séries de machines de construction. Nombreux sont les ouvrages des XVI^e, XVII^e et XVIII^e siècles, qui présentent des séries de machines, très souvent imbriquées dans des ouvrages théoriques plus importants, comportant parfois plusieurs volumes.

Pour autant, bien des historiens s'accordent à ne pas y voir des théâtres de machines, car – reconnaissons-le – cette courte définition est loin de rendre compte de l'ensemble des caractères habituellement attachés aux théâtres de machines. La plupart d'entre eux sont publiés dans de grands formats, in-folio. Ils comprennent un frontispice, une dédicace à quelque grand personnage, une préface au lecteur, qu'ils font suivre, sous forme de liste ou de successions de chapitres, de séries de machines aux fonctions très diverses, représentées par des gravures sur cuivre de belle facture, et accompagnées de légendes assez courtes (de quelques mots à un ou deux paragraphes). Cela correspond en effet à la plupart des théâtres de machines, mais tous ne rentrent pas dans ce moule. Les « théâtres » de Jean Errard, Heinrich Zeising ou Georg Andreas Böckler, ne sont pas de grands in-folio, mais des in-quarto, particulièrement modestes dans le cas des *Theatri machinarum* d'Heinrich Zeising³¹. Plusieurs ouvrages ne présentent que des gravures sur bois, comme ceux de Joseph Boillot ou de Giovanni Branca. Les *Machinae Novae* de Fausto Veranzio ne comprennent qu'un petit avertissement, sans dédicace. Faut-il retirer de notre corpus d'étude ces ouvrages, ou les considérer à la marge ?

Autre point qui pourrait faire l'unité du genre, c'est le fait que les théâtres de machines prennent pour sujet l'invention, et non la description de machines existantes ou la théorisation comme cela est le cas d'autres ouvrages. Mais inclure l'« invention », au sens de la Renaissance, dans la définition soulevait certains problèmes, car l'invention n'est pas au cœur des livres de Vittorio Zonca, Heinrich Zeising, Georg Böckler et jusqu'à Leupold. Ceux-là même qui ont ouvertement appelé leurs ouvrages « théâtre de machines » ne se pensent pas comme des inventeurs, mais décrivent des machines déjà existantes, ou déjà inventées par d'autres.

Nous voyons, avec ces quelques exemples, les difficultés de définition du genre que nous rencontrons. Pour autant, rejeter globalement la notion de genre nous paraissait

Vinegia, Francesco Marcolini, 1556 ; Cesare CESARIANO (dir.), *Di Lucio Vitruvio Pollione De Architectura libri dece traducti de latino in uulgare per G. Cesariano.*, 1521.

³¹ Heinrich ZEISING, *Theatri machinarum erster (-sechster und letzter) Theill*, Leipzig, Henning Gross, 1607.

inapproprié, tant nous rencontrons de lieux communs d'un ouvrage à l'autre. La faute serait juste de les supposer *a priori* tous présents dans les ouvrages généralement compris sous cette expression. Comment procéder ? Il nous a semblé judicieux de retourner la démarche, de ne pas postuler *a priori* un genre, mais de définir un corpus dont l'étude nous permettrait de voir *a posteriori*, s'il existait effectivement des conventions littéraires. Ce travail a été d'autant plus facilité que, pour la période où naît l'expression et se développe les premiers théâtres de machines (1570-1630) cette liste avait déjà été dressée par Mmes Vérin et Dolza³². Pour ce qui est d'après 1630, considérant l'expression bien établie, nous avons choisi de ne sélectionner que les livres portant explicitement le titre de « *Theatrum machinarum* ». Nous avons alors dressé la liste (abrégée) ci-dessous³³ :

- « Bessonius, « *Theatrum instrumentorum et machinarum* », manuscrit "ms add 17921", conservé à la British Library, vraisemblablement rédigé vers 1570. 60 dessins.
- Jacques Besson, *Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques / Instrumentorum et machinarum [...] liber primus*, Paris, chez Fleury Prevost, vers 1572. 60 planches.
- Jacques Besson, *Théâtre des instruments mathématiques et mécaniques / Theatrum instrumentorum et machinarum*, Lyon [Genève], chez Barthélémy Vincent, 1578, ainsi que toutes les éditions suivantes de 1578, 1579, 1582, 1594, 1595, 1596, 1602, en français, latin, italien, allemand et espagnol. 60 planches.
- Giovan Battista Isacchi, *Inventioni*, Parme, chez Seth Viotto, 1579. Environ 50 planches.
- Jean Errard de Bar-le-Duc, *Le premier livre des instruments mathématiques mécaniques*, Nancy, chez Jan Janson, 1584. 40 planches.
- Ambroise Bachot, *Le Timon*, Paris, chez l'auteur, 1587. Environ 20 planches.
- Agostino Ramelli, *Le diverse et artificiose machine*, Paris, chez l'auteur, 1588. Italien et français. Et ses rééditions en 1601, puis en allemand en 1620. 195 planches.
- Ambroise Bachot, *Le gouvernail*, Melun, chez l'auteur, 1598. Environ 25 planches.
- Joseph Boillot, *Modelles, artifices de feu et divers instruments de guerre*, Chaumont-en-Bassig, chez Quentin Mareschal, 1598, et son édition allemande en 1603. Environ 95 planches mais toutes ne sont pas des instruments ou des machines.
- Vittorio Zonca, *Novo teatro di machine et edificii*, Padoue, chez Pietro Bertelli, 1607, et ses rééditions en 1621 et 1656. 40 planches.
- Heinrich Zeising, *Theatri machinarum*, Leipzig, chez Henning Grossen des Jungern, 1607, 1610 pour les deux premiers tomes, réédités en 1612. Le troisième tome est publié aussi en 1612. Il est suivi de trois autres tomes rédigés par Jérôme Megiser entre 1612 et 1614. Environ 150 planches sur l'ensemble.
- Salomon de Caus, *Les raisons des forces mouvantes*, Francfort, chez Jan Norton, 1615. Ainsi que l'édition allemande la même année, et une réédition en 1624³⁴. 35 planches dont plusieurs redondantes (une même machine présentée sur différentes planches), précédées de 20 petites illustrations à vocation plus théoriques.

³² Nous avons toutefois retiré de la liste les livres de Lievin Hulst, dit Hulsius, *Tractati instrumentorum mechanicorum*, Francfort, chez W. Richer, 1605. Plus théorique et porté sur les instruments, cet ouvrage était plus proche de traités de mathématiques que de théâtres de machines.

³³ Nous renvoyons à l'Annexe 1 : « Liste des théâtres de machines », p. CDXX, pour les titres complets et exacts. La liste est classée par ordre chronologique.

³⁴ Nous avons aussi consulté sans l'étudier en détail Isaac de CAUS, *Nouvelle invention de lever l'eau: plus hault que sa source avec quelques machines mouantes par le moyen de l'eau et un discours de la conduit d'ycelle*, Londres, 1644, réédité en 1657, et en anglais en 1659 et 1704. Voir aussi *infra* Chapitre 3 : note 6, p. 110.

- Jacob Strada de Rosberg, *La premiere [et seconde] partie des Desseins artificieux*, Francfort, chez Paul Jacques, 1617 et 1618, ainsi que les éditions allemandes, publiées la même année et leurs rééditions en 1629. 150 planches au total.
- Giovanni Branca, *Le machine*, Rome, chez Jacopo Mascardi, 1629. En latin et en italien. 77 planches.
- Georg Andreas Böckler, *Theatrum machinarum novum*, Nürenberg, chez Paul Furst, 1661. En allemand, réédité en 1662, 1673, 1686 (traduit en latin par Henri Schmitz). 154 planches.
- Jacob Leupold, *Theatri machinarum*, Leipzig, chez Johann Friedrich Gleditsch, sept tomes de l'auteur de 1724 à 1726, 399 planches au total avec plusieurs machines et instruments par planche, auxquels il faut ajouter trois tomes posthumes. Les sept tomes et deux des trois posthumes sont réédités en 1774.
- *Theatrum machinarum universale*, Amsterdam, chez et à la demande de l'éditeur Pierre Schenck, quatre tomes de 1734-1739, dont trois sont traduits en allemand en 1738, deux en français en 1739 et un réédité en 1761. Les auteurs sont Johannis van Zyl, Tileman van der Horst et Jacob Polley. 134 planches au total pour les quatre tomes.

La simple énumération de ces titres, du nombre de rééditions et des langues utilisées, laisse deviner la diversité des ouvrages et de leurs contenus. Cette diversité est encore plus évidente quand nous comptons le nombre de planches imprimées par œuvres. La plupart des auteurs présentent entre quarante et soixante machines, mais certains font un peu moins, comme Ambroise Bachot ou Salomon de Caus, et d'autres, comme Agostino Ramelli et Jacob Strada dépassent largement la centaine de machines. Si nous voulions continuer d'utiliser la notion de genre littéraire, il nous fallait concevoir le genre comme dynamique, sujet à des modifications. Si la présentation sérielle de machines demeure un point central qui permet de conserver une unité au genre, il nous faut étudier à la fois sa genèse, ses évolutions et ses influences sur la littérature mécanique contemporaine et ultérieure. Pensée de façon dynamique, la définition du genre « théâtre de machines » accompagne notre réflexion tout au long de cette thèse.

Le second pilier de notre réflexion concerne l'impact culturel et institutionnel des théâtres de machines. De ses origines à la fin de la Renaissance au début du XIX^e siècle, ces livres sont étroitement liés à l'émergence et l'installation d'une catégorie sociale très particulière : celle des ingénieurs. De fait, le corpus des théâtres de machines, s'il n'est pas la seule source, loin de là, de l'histoire de cette classe sociale³⁵, nous semble un bon observatoire de l'évolution de la culture des ingénieurs de l'époque moderne, de ses mythes fondateurs, de ses façons de penser, et des arguments mis en place pour la définition et la promotion de leur place dans la société. Hélène Verin et

³⁵ Sur l'histoire des ingénieurs à l'époque moderne, voir Hélène VERIN, *La gloire des ingénieurs : l'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*, Paris, A. Michel, coll. « L'Évolution de l'humanité », 1993, 455 p.

Louisa Dolza avaient déjà fait remarquer le rôle que les théâtres de machines ont pu jouer dans cette histoire sociale : « ainsi les théâtres de machines sont des arguments dans la lutte que mènent les mécaniciens praticiens pour élever le statut de leur profession ». Il restait non seulement à définir, par l'analyse des discours et dispositifs éditoriaux, les modalités exactes qui permirent aux auteurs d'utiliser ces livres dans leur bataille pour une reconnaissance sociale, mais aussi de montrer en quoi l'évolution du genre accompagne l'évolution du métier et du statut d'ingénieur à l'époque moderne.

Dans cette histoire qui lie l'histoire culturelle à l'histoire sociale de l'ingénieur, il nous a fallu être particulièrement attentifs aux différences nationales. Trois grandes régions sont en effet principalement concernées par la production de théâtres de machines : le royaume de France, Rome et les États de l'actuelle Italie du Nord, et le Saint empire romain germanique³⁶. L'évolution de la culture et du statut des ingénieurs dans ces trois zones n'étant pas la même, chaque édition de théâtre de machines doit aussi être étudiée par rapport à son contexte géographique. Alexander Gustav Keller avait déjà fait remarquer que l'émergence des premiers théâtres de machines était principalement le fait de la France (Besson, Errard, Bachot, Ramelli, Boillot). Il y voyait une réponse originale aux lacunes françaises du XVI^e siècle dans les sciences physiques et les mathématiques appliquées : « la France n'a pas de Tartaglia, ni de Benedetti, ni de Stevin »³⁷. Si la remarque a le mérite de mettre en évidence le lieu de l'émergence de cette tradition, il nous semble que cette interprétation néglige les traductions françaises des ouvrages de ces auteurs, et mélange sans justification histoire des sciences et histoire des techniques. Pour notre part, rappelant la proximité de ces ouvrages avec les manuscrits médiévaux, nous montrerons que ce genre s'inscrit dans une logique similaire à celle qui vit l'émergence de mécaniciens-concepteurs – autrement dit d'ingénieurs – italiens à la fin du XV^e siècle, et allemands au début du XVI^e siècle.

Cette attention aux contextes nationaux nous montre aussi que, du fait de son succès, ce genre littéraire né en France est repris par des auteurs dans toute l'Europe,

³⁶ L'impact culturel des théâtres de machines a cependant largement dépassé ce cadre, comme nous le verrons en *infra* « Un manuel de mécanique chinois inspiré des théâtres de machines (1627) », p. 76. Il serait aussi intéressant d'étudier en détail l'impact de cette littérature sur le monde anglophone et le monde hispanique, jusque dans leurs colonies américaines, mais ces études dépassaient largement notre cadre, de même qu'une étude plus large sur la réception en Russie à partir du XVIII^e siècle.

³⁷ Alexander Gustav KELLER, « Renaissance Theater of Machines », *T&C*, 1978, vol. 19, n^o 3. Texte original : "France had no Tartaglia, no Benedetti, no Stevin [but] there arose in France one genre of applied mathematical literature..."

notamment dans le duché de Saxe. Modifié, le genre n'en imprime pas moins sa marque sur les façons de penser des ingénieurs européens. Cette nouvelle « piste allemande » est particulièrement intéressante, en ce qu'elle aboutit à la constitution d'une série de théâtres de machines très originaux, édités par le commissaire aux mines de Saxe Jacob Leupold, à partir de 1724³⁸. Ce livre, comme l'a déjà remarqué Bertrand Gille et d'autres historiens, marque une nouvelle rupture dans le genre des théâtres de machines et un infléchissement dans la façon de penser non la place dans la société, mais la formation des ingénieurs. Ainsi, le genre des théâtres de machines accompagne, et même participe, à l'élaboration des grandes mutations dans l'enseignement que sont la naissance des écoles d'ingénieurs. Cela explique sans doute le succès de ce nouvel ouvrage auprès du public français³⁹. Nous voyons en effet se dessiner un jeu d'allers et de retours entre France et monde germanique qu'il convient d'observer avec une attention renouvelée. Les théâtres de machines sont ici à la fois témoins et acteurs d'une histoire culturelle et institutionnelle plus large, mais sur laquelle ils offrent un point de vue des plus originaux.

L'impact culturel et institutionnel des théâtres de machines, notamment dans la formation ne saurait se résumer à leur réception dans le milieu des ingénieurs. Il fut bien plus large. Nous n'insisterons pas sur les racines religieuses du genre, ni sur les impacts culturels généraux en matière de perception de l'industrie, que l'historiographie a en partie traité⁴⁰. En revanche, sa réception dans les milieux savants méritait d'être analysée. Il apparaît alors que les théâtres de machines n'ont pas seulement participé à la justification de la place de l'ingénieur dans la société, mais ont été des acteurs du développement d'une culture mécanique, ou plutôt de « mathématiques mixtes »,

³⁸ Pour être précis, Jacob Leupold ne devient commissaire aux mines de Saxe qu'après la publication des premiers tomes. Voir sa biographie dans Annexe 2 : « Biographies des personnages », p. CDXX.

³⁹ Voir *infra* « Chapitre 4 : Enseigner avec les théâtres de machines », p. 156.

⁴⁰ Sur les racines religieuses et le lien avec la pensée baroque, nous renvoyons à Luisa DOLZA, « A gloria di Dio... », *op. cit.* Sur le sens du spectaculaire, nous renvoyons à la même thèse, ainsi qu'à Jean-Pierre SERIS, *Machine et communication*, *op. cit.* Une étude originale sur les relations entre art et industrie dans les théâtres de machines n'a cependant pas été complètement menée, elle aboutirait sans doute à enrichir une histoire du « design » au sens restreint du terme, par trop limité à la période contemporaine. Sur ce point, mentionnons une parution récente : Pierre LAMARD et Nicolas STOSKOPF (dirs.), *Art et industrie XVIIIe-XXIe siècle. Actes des quatrième Journées d'histoire industrielle de Mulhouse et Belfort 18-19 novembre 2010.*, Paris, A. et J. Picard, coll. « Histoire industrielle et société », n° 4, 2013. Concernant les théâtres de machines, le lecteur trouvera un exemple de ce que pourrait être cette histoire dans Vernard FOLEY, Darlene SEDLOCK, Carole WIDULE et David ELLIS, « Besson, da Vinci, and the evolution of the pendulum: Some findings and observations », *History and Technology*, 1988, vol. 6, n° 1, pp. 1- 43. Lire aussi « I.2.1. Les traces de l'intuition », p. 16-28 dans Benjamin RAVIER, *Le discours technique dans les théâtres de machines (1572-1629)*, sous la direction d'Anne-Françoise Garçon, ENS-LSH, Lyon, 2009.

influençant des inventeurs, des collectionneurs et des expositions privées et publiques. Observer l'impact institutionnel et culturel des théâtres de machines supposait de prendre en compte toutes ces histoires, dans lesquelles ils ont joué un rôle sans doute plus important que ne le laisserait penser une histoire des savoirs fondée sur l'analyse des théories et institutions « scientifiques ».

Les deux piliers de cette thèse s'appuient sur une même interrogation fondamentale, transversale, et qui concerne le sujet même des théâtres de machines, à savoir non la description des machines, mais leur conception. Une notion qui nous paraît à la fois plus large et plus précise que celle d'invention, qui n'est qu'un des modes, des régimes, de la conception. Si l'invention domine à la Renaissance, ce n'est pas le seul mode de conception que nous rencontrons. Qu'entendons-nous alors par conception ? C'est l'opération qui consiste à définir les caractéristiques d'un objet, d'un espace, d'un événement, d'un texte ou d'une organisation⁴¹. Nous nous intéressons plus particulièrement à la conception des objets, c'est-à-dire à la définition de leurs formes et de leurs matériaux en fonctions de contraintes préétablies ou rencontrées.

De nos jours, il est habituel de séparer le travail de conception du travail de production. Cette vision de la conception des objets correspond au monde industriel contemporain, dans lequel la conception et la fabrication ont été séparées, dans lequel la conception a été « domestiquée »⁴², réglée. Dans une première phase, concepteur et commanditaire définissent les contraintes imposées à l'objet (fonction, performance, contexte d'application), puis le concepteur, en usant de différentes méthodes⁴³, définit les caractéristiques, les traduit le plus souvent visuellement, puis les transmet pour production. Nous rencontrons plusieurs types de concepteurs spécialisés, qui se divisent aujourd'hui en trois métiers principaux : architectes, ingénieurs et *designers*,

⁴¹ Nous pouvons dire en effet qu'une organisation peut être conçue à l'avance. Par exemple, écrire une constitution est plus qu'écrire un texte, c'est concevoir le mode d'organisation de la vie publique.

⁴² Nous tirons l'expression de Pascal LE MASSON et Benoît WEIL, « La domestication de la conception par les entreprises industrielles : l'invention des bureaux d'études », in *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Cerisy-la-Salle, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy, 2008.

⁴³ Les méthodes de conception réglée allemandes ont fait l'objet d'un article : Pascal LE MASSON et Benoît WEIL, « Aux sources de la R&D : genèse des théories de la conception réglée en Allemagne (1840-1960) », *Entreprises et histoire*, 2010, vol. 58, n° 1, pp. 11- 50. Voir aussi *infra* « La conception réglée allemande selon la théorie C/K », p. 420.

qui correspondent à trois objets-types : l'architecte conçoit des bâtiments, le *designer* des objets industriels, et l'ingénieur des machines⁴⁴.

Si cette division des métiers dans la production est désormais majoritaire dans le monde occidental⁴⁵, tel n'était pas le cas à la Renaissance. La plupart des objets, et même des machines, était à la fois conçue et fabriquée par des artisans, qui n'utilisaient pas l'outil graphique dans une fonction de communication. La conception était fortement liée à la longue expérience d'un métier : le maître artisan concevait l'objet avec le commanditaire, et s'il ne fabriquait pas l'objet de A à Z, faisant travailler des apprentis, il maîtrisait toutes les étapes de la chaîne de production, et était capable d'intervenir sur tous les postes au besoin. Dans le cas d'objets plus complexes, le commanditaire faisait appel à des artisans spécialisés, capables au besoin de collaborer voire d'embaucher « en entreprise » d'autres artisans⁴⁶ [ftn46](#) : le pêcheur faisait appel pour son bateau au charpentier de marine⁴⁷, le maître mineur concevait en collaboration avec le charpentier sa machine d'exhaure, le bourgeois commandait une petite maison à un maçon, qui pouvait embaucher ou travailler avec un sculpteur.

Dès les débuts de la Renaissance italienne cependant, deux lieux allaient pousser les grands seigneurs à faire appel à des spécialistes de la conception : la guerre et le palais. La guerre nécessitait des machines de siège et l'émergence de l'artillerie appelait à repenser les fortifications. Le palais, quant à lui, était un lieu de confort, de fête et de grandeur, nécessitant une architecture à la fois solide et esthétique, l'assurance d'une alimentation en eau régulière et des machines complexes pour les « jeux » mécaniques. Cela conduisit à l'émergence en Italie du Nord, de personnes qui produisaient moins qu'elles ne concevaient de grands bâtiments et de grosses machines. La charpente, la maçonnerie, l'horlogerie, quelques métiers des beaux arts

⁴⁴ Cette division simpliste en cœur de métier cache une réalité plus complexe dans laquelle les sphères d'activités de l'architecte, de l'ingénieur et du designer sont floues, donnant lieu à des concurrences ou des coopérations dont l'histoire offre de très nombreux cas. De nos jours, la différence de formation, d'histoire, de culture et de méthode de conception est sans doute plus prégnante que la différence des objets « historiquement privilégiés » sur lesquels ils travaillent.

⁴⁵ Et encore, le logiciel, à la fois produit et concept, nécessite de revoir cette organisation : il n'y a plus de « transfert » d'une conception à la fabrication, mais un retour à un concepteur-fabricant unique. L'ingénieur informaticien est à la fois le concepteur et le fabricant du logiciel, comme le charpentier de marine de son bateau ou l'écrivain de son texte.

⁴⁶ Sur la notion d'entreprise, voir Serge BENOIT, « Les évolutions de la notion d'entreprise (entretien) », *e-Phaistos*, 2012, I, n° 2, pp. 79- 84 ; Hélène VERIN, *Entrepreneurs, entreprise : histoire d'une idée*, Paris, Presses universitaires de France, 1982.

⁴⁷ Sur la conception non-graphique des bateaux, voir Éric RIETH, *Le maître-gabarit, la tablette et le trébuchet essai sur la conception non-graphique des carènes du Moyen âge au XXe siècle*, Paris, CTHS, 1996.

(peinture, dessin, sculpture), et l'armée fournirent ces premiers « artistes-ingénieurs », au service de grands personnages. À la fois architectes et ingénieurs, ils concevaient un bâtiment et les machines permettant de le construire, une fontaine et les machines à élever l'eau permettant de l'alimenter. Ces personnages intermédiaires entre le seigneur et l'artisan, entre le général et le soldat du génie, étaient connus pour leur *ingegno*, leur faculté à trouver des solutions artificielles à des problèmes posés⁴⁸. Ces spécialistes se constituèrent assez vite une culture mécanique très poussée, et les idées circulaient par l'intermédiaire de nombreux dessins manuscrits, copiés à l'occasion d'un travail réalisé chez un de ces seigneurs. Une circulation qui, semble-t-il, se poursuivit jusqu'à la moitié du XVI^e siècle au moins. Notons ce point crucial : le dessin, ici, n'a rien du médium nécessaire à la concrétisation d'un objet conçu préalablement, mais est un moyen de communication culturelle, un moyen de se former une culture des dispositifs mécaniques et d'échanger sur leur efficacité.

Avec l'apparition de l'imprimerie, l'architecture vit fleurir des traités et d'Alberti à Philibert de l'Orme, les architectes réduisirent en art la conception des bâtiments, c'est à dire décrivirent les règles de leur construction⁴⁹. L'architecture obtint assez vite une reconnaissance publique, que n'eut pas encore la conception de machines. Dans l'histoire de la conception, cette primauté première de l'architecture ne saurait être négligée et bien des indices témoignent de l'intérêt mutuel des ingénieurs pour la littérature architecturale et des architectes pour les théâtres de machines. Dès les débuts de la spécialisation des deux métiers, les jeux de concurrence/collaboration se faisaient jour.

Suivant un processus similaire à celui des traités d'architecture, le discours des théâtres de machines se donnait comme objectif de combler ce manque de reconnaissance et leur contenu visait à combler cette lacune vis-à-vis de l'architecture : régler la conception de machines, lui donner une méthode. Là, apparaît pourtant un

⁴⁸ Sur l'histoire du mot ingénieur, et son lien avec *ingegno*, voir Hélène VERIN, *La gloire des ingénieurs*, op. cit.

⁴⁹ « Réduire en art, du latin *ad artem redigere* : rassembler des savoirs épars, fragmentaires et souvent non-écrits, les mettre en ordre méthodique à l'aide des mathématiques, de la rhétorique, de la figuration. Contribuer ainsi au bien public. ». Définition donnée en quatrième de couverture de Pascal DUBOURG GLATIGNY et Hélène VERIN (dirs.), *Réduire en art : la technologie de la Renaissance aux Lumières*, Paris, Éd. de la Maison des sciences de l'homme, 2008. Sur la réduction en art de l'architecture, lire notamment les contributions d'Yves Pauwels, « Vitruvianisme et « réduction » architecturale au XVI^e siècle » (p. 97-114) et de Michèle Virol, « La conduite des sièges réduite en art. Deux textes de Vauban » (p. 149-172).

problème. Le seul corpus théorique cohérent que les ingénieurs mécaniciens ont à leur disposition est celui de la statique, dont les principes se retrouvent dans de très nombreux ouvrages, rééditions d'œuvres d'Archimède ou de Héron d'Alexandrie ou livres de mathématiques « mixtes » (Cardan, Stevin). Plusieurs auteurs ne manquèrent pas de s'en réclamer. Cela leur permettait d'inscrire dans l'ordre des savoirs théoriques, une pratique jusque là méprisée.

Pourtant, l'écart entre la *statique* et la conception puis la fabrication des machines telles que la vivent les ingénieurs est tel, que l'explicitation des opérations de conception mécanique ne peut se faire⁵⁰. La science des XVI^e et XVII^e ne fut jamais à même de rendre compte de tout ce que supposait la conception d'une machine complexe, et il fallut attendre le XVIII^e siècle pour voir apparaître les débuts de théories dynamiques permettant de mesurer les échanges de travail dans une machine, ou encore l'impact exact des frottements, points particulièrement cruciaux de la conception d'une machine. Du fait de ces lacunes ne permettant pas de mettre en place des ordres ou des règles efficaces, la réduction en art de la conception mécanique échoue. Les théâtres de machines sont une forme originale constituée en partie en réponse à cette impossibilité de la réduction en art. La façon avec laquelle les différents auteurs cherchent à rationaliser la conception mécanique, à lier science et pratique de la conception, fonde ainsi notre recherche et sert de guide à cette étude.

Pour explorer les différents stades de cette conception mécanique, qui entraînent les évolutions du genre des théâtres de machines et accompagnent le changement de statut de l'ingénieur à l'époque moderne, nous avons choisi de diviser notre étude en trois grandes parties. La première retrace l'évolution des contextes de publications et de réception, et leurs influences sur l'évolution du genre. Elle est divisée en quatre chapitres. Le premier revient sur les raisons qui ont poussé certains auteurs, à partir de 1570, à publier des livres avec des séries de machines. Le second montre comment le genre, bénéficiant d'un large succès, subit plusieurs évolutions dès après 1600. Le troisième enquête sur l'impact du genre sur les collections de livres et d'objets à partir du milieu du XVII^e siècle, impact qui constitue l'une des facettes du succès européen

⁵⁰ Cette idée, dont Jean-Pierre Sérés avait eu l'intuition, a été développée dans : Hélène VERIN, « Salomon de Caus, un mécanicien praticien », *Revue de l'Art*, 2000, vol. 129, n° 3, pp. 70- 76.

des théâtres de machines. Cette partie se termine par l'étude de l'influence de cette littérature sur l'enseignement des mathématiques appliquées, et ce jusqu'au début du XIX^e siècle.

Les deux parties suivantes insistent chacune sur un moment de cette longue tradition. Ainsi, la seconde partie est consacrée aux premiers théâtres de machines de 1570 à 1670. Pendant cette période, les caractères du genre se mettent en place, et subissent déjà une première évolution. Le cinquième chapitre revient ainsi sur les arguments mis en place pour légitimer la place de l'ingénieur dans la société. Le sixième éclaire la mise en place de codes, parfois implicites, qui permettent de constituer un groupe cohérent autour de valeurs communes et de régler les relations de l'ingénieur avec ses pairs et avec les membres extérieurs au groupe. Le septième chapitre, central dans cette thèse, vise à expliciter les règles sur lesquelles s'appuie l'invention présentée dans les théâtres de machines. Le huitième chapitre, enfin, montre comment ces « méthodes » d'inventions se traduisent dans la présentation et le contenu des textes et des images du corpus.

La troisième et dernière partie est quant à elle entièrement dédiée à l'œuvre de Jacob Leupold. Peu étudiée, ses *Theatri machinarum*, qui se détachent par bien des aspects de la tradition antérieure des théâtres de machines, méritaient une analyse approfondie. Souvent appelée des vœux des historiens⁵¹, elle n'a été entreprise que très partiellement, et dans le seul esprit de l'histoire des sciences, sans s'attarder sur les liens avec la tradition antérieure⁵². Pourtant, cette œuvre marque une rupture en ce qu'elle fait définitivement entrer le genre des théâtres de machines dans la technologie. Le chapitre neuf revient donc sur l'ambition réformatrice du projet de Jacob Leupold. Le chapitre dix, montre comment cela se traduit dans la mise en place d'une pédagogie particulière, de nature « technologique ». Le onzième chapitre revient d'ailleurs sur l'assise théorique de cet enseignement, synthèse de la science *statique* « classique » et des derniers apports scientifiques de la période. Enfin, le douzième et dernier chapitre clôt cette thèse en mettant en évidence la façon dont l'œuvre de Leupold induit une certaine méthode de conception, qui se veut rationalisée.

⁵¹ Eugene S. FERGUSON, « Leupold's « Theatrum Machinarum » », *op. cit.*

⁵² George Wilfred LOCKETT, *Jacob Leupold as hydraulic engineer. A study of his Theatrum Machinarum*, sous la direction Bert Hall, Janis Langins et Hans Leutheusser, université de Toronto, 1994, 281 p.

Partie I : Les théâtres de machines : un succès durable (XVI^e-XVIII^e)

Chapitre 1 : Pourquoi publier un livre de machines ? (1569-1629)

L'apparition des théâtres de machines ne se comprend que si nous resituons le parcours et les projets initiaux de chaque auteur. Or, force est de constater que la diversité prévaut, et que les projets s'ancrent dans une tradition ancienne. La forme de ces livres, dans lequel l'image prévaut sur l'écrit, existait déjà sous forme de livres d'inventions mécaniques manuscrits. Ces manuscrits ont accompagné la formation de classes intermédiaires de techniciens, regroupés aujourd'hui sous le nom d'ingénieurs, d'abord en Italie au XV^e siècle¹, puis en Allemagne au début du XVI^e siècle². Ce n'est pas un hasard si les livres de machines imprimés font leur apparition dans la France de la fin du XVI^e siècle, au moment même où se cristallise la formation de cette nouvelle catégorie professionnelle. L'originalité vient de ce que le passage à l'imprimé de cette tradition littéraire la conduit à se transformer radicalement par l'insertion de nouveaux acteurs. Ces nouvelles caractéristiques amènent à l'émergence des théâtres de machines, genre littéraire particulier, qui se développe et se transforme pendant le demi siècle qui sépare la publication du *Theatrum instrumentorum et machinarum* de Jacques Besson en 1578 des *Machine* de Giovanni Branca en 1629 (avec un avatar en 1661).

Notons que ce nouveau mouvement de la littérature mécanique se fait en parallèle de la réduction en art, forme générique que prennent de nombreux ouvrages de restitution des savoirs de l'époque³. Plusieurs auteurs de théâtres de machines participent aussi de ce mouvement et les liens entre les deux traditions existent, mais nous ne pouvons pas les confondre : les objectifs sont trop différents. C'est pourquoi il nous a semblé nécessaire de rendre compte des divers contextes d'écriture des œuvres

¹ Voir Pascal BRIOIST, « La diffusion de l'innovation... », *op. cit.*

² Concernant la richesse de la circulation des manuscrits dans l'espace allemand, lire Wolfgang LEFEVRE (dir.), *Picturing machines : 1400-1700*, Cambridge, Mass., MIT Press, coll. « Transformations », 2004.

³ Pascal DUBOURG GLATIGNY et Hélène VERIN (dirs.), *Réduire en art*, *op. cit.*

du corpus pour saisir à la fois la diversité des situations et les évolutions du genre, depuis ses origines médiévales jusqu'au début du XVII^e siècle.

L'héritage de la littérature du quattrocento

À regarder la littérature mécanique médiévale, le rapprochement avec les théâtres de machines est flagrant. Les machines se ressemblent, les préoccupations mécaniques semblent similaires, les outils graphiques sont semblables, jusqu'à l'usage généralisé de la perspective et d'une certaine mise en scène. Si tous l'ont noté, rares sont les historiens à interroger sur cette proximité. Tout au plus Bertrand Gille et Ladislao Reti s'appliquent-ils à mettre en évidence des emprunts, déplorant parfois de ne pas connaître les « relais de transmission » intermédiaires⁴. Cette parenté est pourtant le signe de quelque chose de plus qu'une histoire de plagiat ou d'améliorations, voire même d'inventions de machines au sens renaissant de mise en évidence de secrets cachés⁵. C'est celle d'une même habitude d'ingénieur, celle du carnet, où sont retranscrites les trouvailles. C'est encore, pour les traités manuscrits, une même nécessité d'obtenir reconnaissance, protection et légitimité par l'écrit. C'est enfin une place nouvelle accordée à l'image. Comme le dit Paolo Galluzzi à propos des « essais littéraires » de Mariano di Jacopo (dit le Taccola) et Francesco di Giorgio Martini :

« L'impression produite par ce genre littéraire inédit et par ses auteurs tient certes à la nouveauté des thèmes traités et à l'intérêt que suscite, en un temps où la culture antique est vénérée, une reprise de la présentation des machines du *De architectura* [de Vitruve]. Mais surtout, elle est liée au fait que le concept même de texte acquiert une dimension neuve : il ne se résume plus à de simples descriptions textuelles, mais naît du dialogue étroit que ces dernières entretiennent avec un appareil d'images extrêmement riche et suggestif. Introduire systématiquement l'image pour traiter de l'architecture et des machines, lui accorder une place centrale par rapport à la description textuelle, telle est de fait la contribution la plus originale de ces auteurs. »⁶

Une contribution originale largement reprise par les théâtres de machines de la fin du XVI^e siècle, où le rôle de l'image est tout aussi important. La base de données mise

⁴ Ladislao RETI, « Leonardo and Ramelli », *op. cit.* ; Ladislao RETI, « Francesco di Giorgio Martini's Treatise on Engineering and Its Plagiarists », *op. cit.* ; Bertrand GILLE, « Compte-rendu des conférences... », *op. cit.* Nous avons mis en place une première typologie des emprunts dans « Archéologie des théâtres de machines », chapitre I.2 de notre mémoire de master « Le discours technique dans les théâtres de machines (1572-1629) », sous la direction d'Anne-Françoise Garçon.

⁵ Voir *infra* « Introduction », note 20 p. 1.

⁶ Paolo GALLUZZI, *Les Ingénieurs de la Renaissance*, *op. cit.*, p. 14.

en place par Markus Popplow et Wolfgang Lefèvre, « Database Machine Drawings » (DMD)⁷ nous aide à préciser encore cette filiation. La DMD est fondée sur un large corpus de manuscrits et d'imprimés du XIII^e siècle à 1629, connus pour leurs images de machines. Associée à un outil de recherche assez complet⁸, elle nous permet de réaliser des statistiques sur un large spectre d'ouvrages. Parmi les imprimés, nous trouvons plusieurs traités techniques du XVI^e siècle d'un côté et les théâtres de machines de l'autre. Point important : mis à part *Le Fortification* de Buonaio Lorini⁹, tous les livres référencés après 1578 sont des théâtres de machines. C'est dire la domination exercée par ce genre littéraire sur les représentations de machines. Parmi les manuscrits, la diversité est de mise : carnets individuels ou traités. Nous avons ainsi classé les images en cinq catégories : les manuscrits d'avant 1578, les imprimés d'avant 1578, les théâtres de machines, le Lorini, les manuscrits de 1578 et après¹⁰.

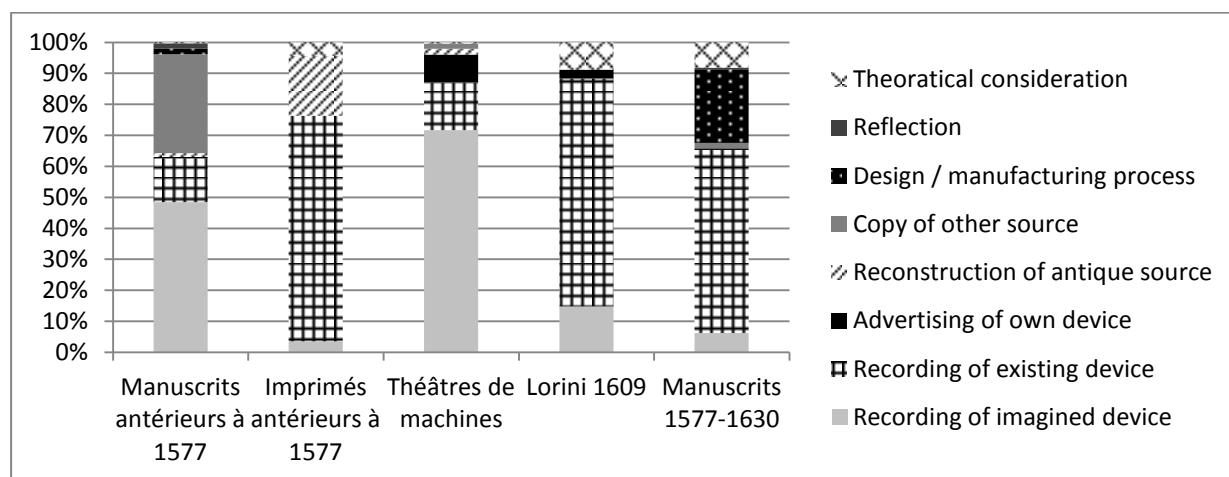


Tableau 1 : Rôle des images de machines¹¹

⁷ Wolfgang LEFEVRE et Marcus POPLOW, *DMD - Database Machine Drawings*, <http://dmd.mpiwg-berlin.mpg.de/home>, consulté le 14 janvier 2013. La dernière mise à jour date de janvier 2009. La base n'a plus été alimentée depuis, ce qui permet une homogénéité des résultats d'analyses menées à des périodes différentes.

⁸ La base ne recense pas des ouvrages mais uniquement leurs images. Le moteur de recherche mis en ligne permet d'interroger la base avec de très nombreuses entrées : auteurs, titres, dates bien sûr, mais aussi type d'engin, de décor, de personnage, d'énergie, techniques graphiques utilisées, mécanismes employés. Toutes les entrées pouvant être mobilisées en même temps. Un protocole strict permet ainsi de développer des tableaux complets et de réaliser des études statistiques sur l'ensemble du corpus. Pour plus de détails, voir Annexe 5 : « Analyse de la « Database Machine Drawings » », p.VI.

⁹ Buonaio LORINI, *Le fortification*, Venise, Rampazetto, 1609. La partie concernant les machines de siège et de construction pourrait aisément passer pour un théâtre de machines « inséré » dans un traité de fortification, à la manière du livre de Bachot.

¹⁰ Le choix de 1578 comme date charnière vient de ce que l'édition de 1571-2 du Besson est restée trop confidentielle pour marquer une rupture, et n'est pas référencé dans la base. Dans nos recherches, ce choix ne concerne qu'un manuscrit anonyme allemand de 32 images.

¹¹ Champ « Presumable purpose of image » de la DMD. Les échantillons sont très hétérogènes en nombre d'images,

Cette première analyse revient sur les rôles attribués aux images selon l'historiographie. Outre que la proportion de copies dans les manuscrits anciens¹² (1/3) témoigne d'une large circulation des savoirs, il est frappant de constater la proximité globale des types d'images des manuscrits anciens et des théâtres de machines. Une proximité soulignée par la différence de ces derniers avec les autres traités imprimés de la Renaissance ou les manuscrits tardifs.

Qu'est-ce qui caractérise les théâtres de machines et les manuscrits de machines anciens ? L'absence de représentations à connotation théoriques¹³, et surtout un bien plus grand nombre de machines « imaginées » que dans les traités mécaniques et les manuscrits tardifs qui privilégient une meilleure connaissance des anciens (« reconstruction of antique source », notamment Vitruve) et surtout la description de machines connues (« existing device »). Ils obéissent à l'impulsion de ce mouvement intellectuel de la « réduction en art » qui pousse à l'observation et à la mise à l'écrit des techniques¹⁴. Les manuscrits tardifs témoignent quant à eux d'une évolution du carnet d'ingénieur, moins tourné vers la copie de traités manuscrits ou l'invention que vers l'observation et l'annotation minutieuse de ce qui existe et des moyens de produire des machines : la réduction en art a fait son œuvre jusque dans les pratiques documentaires des ingénieurs¹⁵. Face à cette spécialisation, les théâtres de machines, quant à eux, se situent dans la continuité d'une tradition ancienne de représentation.

Le statut social de certains auteurs de manuscrits et des premiers auteurs de théâtres de machines permet de comprendre les raisons de cette continuité primitive. Comme Jacques Besson, Agostino Ramelli, Jean Errard, Joseph Boillot ou même Salomon de Caus, les auteurs des manuscrits du XV^e siècle sont des praticiens, souvent polyvalents, choisis par des princes pour organiser des fêtes, construire des palais ou des fortifications, inventer des machines de siège, toutes choses qui

d'où le choix des proportions.

¹² Nous entendons par anciens : antérieurs à 1578 et par tardifs, ultérieurs à 1578.

¹³ Nous avons volontairement retiré de l'échantillon des théâtres de machines les schémas que place Salomon de Caus au début de son ouvrage. Pour la composition de chaque corpus, voir Annexe 5 : « Analyse de la « Database Machine Drawings » », p. VI.

¹⁴ Voir *infra* « Introduction », note 49, p. 1.

¹⁵ Il faut toutefois nuancer la radicalité de ce changement tel qu'il apparaît dans le graphique. Les manuscrits, à la fin du XVI^e siècle, se font plus rares. Ainsi, les résultats viennent, pour les ¾ des œuvres d'Heinrich Schickhardt. De plus, les manuscrits de Vinci ne sont pas traités dans la base. La grande quantité de ces dessins issus d'une observation attentive aurait sans doute modifié les résultats.

demandent un savoir-faire mécanique et quelques connaissances de base en mathématiques. L'écrit permet de légitimer leurs auteurs sur le marché des ingénieurs. D'autant que le statut même d'ingénieur est précaire, et dépend des besoins et commandes des princes, au XV^e siècle comme au début du XVII^e siècle :

« Ainsi, ceux que nous appelons « ingénieurs » étaient plutôt des entrepreneurs experts en mécanique qui obtenaient, grâce au titre d'ingénieur, des garanties de revenus et de commandes pendant un certain temps. Garanties non seulement soumises au bon plaisir du Prince, mais encore aux exigences sourcilleuses et souvent abusives des Trésoriers. »¹⁶

Au contraire, les auteurs des traités renaissants sont des lettrés, comme Jérôme Cardan ou Georg « Agricola » Bauer, tous deux docteurs en médecine. Leurs objectifs de carrière et de légitimation sont différents et les problèmes mécaniques se posent à eux depuis un autre angle de vue que celui de ces premiers ingénieurs.

Par ailleurs, nous pensons trop souvent, ayant en tête certains manuscrits de Léonard de Vinci que ces représentations manuscrites de machines sont des carnets personnels, dans la lignée du codex de Villard de Honnecourt. La grande majorité de ces manuscrits sont en réalité des ouvrages cohérents, parfois même de véritables traités, destinés à un prince et au public de ceux qui ont accès à ses collections.

Le cas des ingénieurs siennois du *quattrocento* Mariano di Jacopo, dit le Taccola, « le corbeau », et Francesco di Giorgio Martini est particulièrement intéressant¹⁷. Le premier, de dix ans plus jeune que Brunelleschi, est un notaire qui a abandonné sa profession pour entamer des recherches mécaniques. Vivant dans un milieu culturel où il côtoie artistes et humanistes, Taccola conçoit d'abord son travail comme la recherche des machines antiques qu'Archimède, Frontin, Végèce ou Vitruve ont pu développer dans leurs domaines respectifs, et en faire part à ses contemporains (soit le sens de l'invention au XV^e siècle). Pour autant, ses machines témoignent aussi de recherches personnelles, liées à ses activités. Nous avons retrouvé aussi bien des dessins personnels que de véritables traités de cet auteur (le *De Ingeniis* et le *De Machinis*). À bien des égards, la forme que prennent ces traités ressemble à celle des théâtres de machines. Sans ordre apparent, il présente des machines diverses, accompagnées de

¹⁶ Hélène VÉRIN, « Salomon de Caus, un mécanicien praticien », *Revue de l'art*, 129, 2000-3, p. 70-76.

¹⁷ Pour plus de précisions sur la vie de ces inventeurs siennois, voir Paolo GALLUZZI, *Les Ingénieurs de la Renaissance*, *op. cit.* et MUSEE GALILÉE DE FLORENCE, *Leonardo and the Engineers of the Renaissance*, <http://brunelleschi.imss.fi.it/ingrin/index.html>, consulté le 2 mai 2013.

commentaires sous les images. Les machines sont représentées en perspective et sont vues souvent d'un point en hauteur. Elles prennent souvent toute la page et peuvent remplir la double page d'un codex. La mise en scène est aussi omniprésente dans les œuvres de Taccola, et plus encore dans la copie du *De Machinis* réalisée par Paolo Santini. Il y a clairement une volonté de montrer les machines, et de les décrire.

Francesco di Giorgio Martini est aussi siennois. De soixante ans le cadet du Taccola, dont il a annoté certains des manuscrits, il a rédigé ses propres carnets et ses propres traités. Réunis dans le *Codicetto*, les premiers dessins de Giorgio Martini apparaissent comme des copies d'inventions de Taccola, et des recherches personnelles sur les mêmes thèmes, mais en complexifiant les mécanismes. Les images sont ici sans annotations, vierges de tout texte. Une succession d'images de machines qui rappelle celle des manuscrits de Jacob Strada de Rosberg. La mise en scène, chez Martini, demeure cependant bien plus minimaliste, y compris par rapport à l'œuvre du Taccola.

Une évolution importante intervient alors avec la rédaction du *Trattato di architettura*. La représentation des machines y est d'abord précédée d'une première partie qui développe les opérations nécessaires aux mesures de distance et de hauteur. Ensuite, et surtout, Martini organise son ouvrage en plusieurs parties distinctes : moulins, pompes, appareils de traction et de levage, chars, engins de guerre, et un appendice où on trouve des machines diverses. Chaque dessin est accompagné d'un commentaire, mais la mise en page est très différente de celle des codex du Taccola. Le texte est rédigé quasiment en continu, en deux colonnes, parfois interrompu par un dessin, quand celui-ci n'est pas placé dans la marge. Les machines sont souvent représentées avec des bâtis rectangulaires, figurés en coupe et qui viennent encadrer le cœur mécanique de la machine. Ici ne figurent que les quelques éléments nécessaires à la compréhension de la machine. Le texte, plus long, est enrichi d'« indications terminologiques d'un grand intérêt, et des informations sur les matériaux, sur les dimensions, les opportunités de construction et d'emploi et les performances spécifiques des dispositifs qu'il recommande »¹⁸. Le classement des machines lui-même n'est pas réalisé au hasard et semble obéir à une logique de présentation en

¹⁸ Paolo GALLUZZI, *Les Ingénieurs de la Renaissance, op. cit.*, p. 41-42.

fonction de la force motrice : « Dans le cas par exemple des moulins, il étudie d'abord les machines à roue hydraulique, puis les moulins à vent et ceux actionnés par l'homme ou les animaux »¹⁹. Le nombre de machines civiles - moulins et pompes - représentées augmente et celui de machine de siège et de levage diminue par rapport à la littérature antérieure.

Le *Trattato* a connu une seconde version manuscrite. L'évolution, déjà entamée dans les commentaires et l'organisation de la première version se poursuit. Le commentaire insiste davantage sur les principes communs qui permettent de faire fonctionner les machines. C'est la cristallisation progressive d'un discours, qui sans faire appel aux lois de la nature comme le fait Vinci plus tard, part de la régularité de certaines combinaisons pour énoncer certains principes généraux. Les machines perdent le caractère particulier que leur conférait toujours la mise en scène dans Taccola, et qui semblait encore en partie exister dans la première version. La théorie gagne de la place, et au nombre de machines est préféré l'exemplarité de certaines inventions :

« Toutes les catégories d'appareils sont réduites. Il ne reste plus qu'une dizaine de moulins, rigoureusement classés par type d'énergie : roue à auges alimentée par dessus (un exemple), roue horizontale à cuillère (un exemple), moulin à vent à roue horizontale (un exemple), moulin à perches avec volant régulateur à billes métalliques (deux exemples), moulins actionnés par l'homme ou par des animaux (trois exemples, différenciés par leur système de transmission), et moulins à roue d'écureuil actionnée par un cheval (deux exemples, avec l'animal à l'intérieur ou au-dessus). »²⁰

La forme, mieux l'évolution de la forme de ces traités de la fin du Moyen Âge se rapproche de celle que nous observerons dans les théâtres de machines, de Jacques Besson au traité plus complet de Ramelli ou à celui plus théorique de Salomon de Caus, et jusqu'aux compilations réalisées par Heinrich Zeising à partir de 1612. Pourquoi alors cette continuité, ou plutôt cette répétition ?

Il y a là une histoire de *moment* : celui de la constitution d'un corps social particulier, les ingénieurs, et celui de la mise en place et légitimation d'une nouvelle discipline, la mécanique, même si ce *moment* n'intervient pas aux mêmes *instants* chronologiques en Italie et en France²¹. La légitimation de ces ingénieurs, qu'elle soit individuelle ou

¹⁹ *Ibid.*, p. 42.

²⁰ *Ibid.*

²¹ Le moment de la constitution et de la légitimation des ingénieurs allemands semblent se faire à partir de la fin du XV^e siècle, si nous en croyons l'augmentation d'ouvrages d'auteurs allemands entre 1475 et 1500 dans Wolfgang

collective, passe en partie par l'écrit, et il n'est pas si surprenant que le développement de ces littératures soit similaire, d'autant plus que l'une se nourrit de l'autre. Chaque moment garde cependant son originalité. La personnalité des auteurs et le contexte jouent ici un rôle important.

Ainsi il ne faut pas minimiser le fait que la publication du livre de Besson, considéré unanimement et avec raison comme le premier « vrai » théâtre de machines, marque une rupture, et une rupture de taille : le passage à l'imprimé. Ouvert à d'autres publics, cette littérature mécanique s'ouvre du même coup à d'autres auteurs. De nouveaux objectifs se font jour, de nouvelles stratégies éditoriales se mettent en place, en France, mais aussi en Italie et dans le monde germanique. Alors même que cette tradition littéraire gagnait un nom, elle se transformait et débutait, par son passage en France, un large mouvement de réélaboration. Rendre compte de cette rupture et mettre en lumière cette diversité des acteurs et des objectifs, souvent occultée par l'impression d'univocité que laisse l'expression figée de « théâtres de machines », tel est l'objectif du présent chapitre.

Le « moment Jacques Besson » : du traité savant au livre d'inventions, 1569-1578

Il n'est pas question de réécrire ici la biographie de Jacques Besson, désormais assez bien connue²². Notons simplement que ce calviniste dauphinois fut un mathématicien « pratique », qui mettait son savoir et sa démarche mathématique au service d'une recherche de solutions efficaces dans divers domaines, dont les machines n'étaient qu'une partie²³. Plus intéressantes sont ses dernières années et les premières après sa mort, qui constituent le moment où s'opère un premier changement d'orientation, qui aboutit à la mise en place de livres d'inventions, première étape vers la mise en place des théâtres de machines.

LEFEVRE et Marcus POPLOW, « DMD - Database Machine Drawings », *op. cit.*.

²² Pour une biographie de Jacques Besson et les études attenantes, voir Annexe 2 : « Biographies des personnages », p. III.

²³ Besson fut notamment l'auteur d'un traité sur la fabrication des fours à distiller les huiles, sur la façon de trouver les sources depuis la topographie extérieure, et sur un instrument de mesure astronomique et cartographique.

Vers la fin de l'année 1569, Jacques Besson arrive à Montargis, où il est protégé par la duchesse Renée de Ferrare, de sang royal²⁴. Il entre en relation avec Jacques Androuet du Cerceau, architecte et graveur célèbre. Par ailleurs, avec l'imprimeur parisien Galliot du Pré, il réédite ses œuvres antérieures. Parmi plusieurs projets de livres, Besson avait celui de décrire plusieurs machines de son invention, dont quelques unes avaient été citées auparavant. Daniel Regnier-Roux a montré qu'au contact de Jacques Androuet du Cerceau, ce dernier projet se précise et prend le pas sur les autres²⁵. Ce dernier aurait même joué le rôle d'« intercesseur auprès de quelques seigneurs ou même du Roi pour obtenir les moyens indispensables à la réalisation du projet de son coreligionnaire ».

Ainsi Besson déclare-t-il en 1569 « travaille[r] aussi [...], pour dédier à Sa Majesté, à un ample livre, distribué en plusieurs inventions nouvelles d'instruments & machines utiles »²⁶. Il obtient le soutien financier du roi Charles IX pour mener à bien son projet, qui apparaît comme le couronnement de toutes ses recherches personnelles. L'objectif est clair : cette œuvre devait permettre à Besson d'obtenir des commandes royales, et en entrant à la cour, de se placer sous la protection du souverain :

« toutesfoys et quantes qu'il vou plaira me le commander et tendre la main de vostre magnificence selon qu'avez accoustumé de faire envers tous voz humbles subjez qui s'estudient journellement a toute bonne science et vertu pour faire service a vostre Majesté et a toutes nations soubz vostre nom et royale auctorité. »²⁷

De ce livre, nous avons une première version manuscrite²⁸, peut-être de 1569, mais c'est vraisemblablement un exemplaire d'une version imprimée, parue peu après sous le titre de *Livre premier des instruments mathématiques et mechaniques* que Jacques Besson donne au roi le 12 mai 1572 en l'échange de 560 livres tournoi (l.t.), une somme plus que conséquente.

²⁴ Renée de Ferrare est la belle-sœur de François I^{er} et tante du roi Charles IX. Réformée pacifiste, elle prenait sous sa protection à Montargis de nombreux protestants de tous horizons, notamment savants.

²⁵ Daniel REGNIER-ROUX, « Le rôle de Jacques Ier Androuet du Cerceau dans la conception et la réalisation du Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques de Jacques Besson », *Revue Reforme, Humanisme, Renaissance (RHR)*, 2010, n° 70, pp. 113-134.

²⁶ Préface de Jacques BESSON, *L'art et science de trouver les eaux et fontaines cachées soubz terre, autrement que par les moyens vulgaires des agriculteurs & architectes*, Orléans, Pierre Trepperel, 1569.

²⁷ Cette citation est tirée de la préface d'une version manuscrite de l'ouvrage de Jacques Besson, conservée à la British Library sous la cote : « Additional 17921 » dans le catalogue des manuscrits. Zotero.

²⁸ Voir note 27 » » » ci-dessus.

Pourtant, la présentation soignée du manuscrit, l'écriture calligraphiée d'un professionnel²⁹ et les figures, dessinées à la plume et colorées avec des teintes de lavis très claires, en ferait un bel objet fini si toutes les légendes étaient aussi complètes que sur les trois premières figures. La dédicace à Charles IX laisse penser qu'il s'agit d'un premier projet de ce livre, sans doute interrompu par la décision d'imprimer le traité. Or la comparaison entre manuscrit et l'imprimé révèle de nombreuses différences. Les projets diffèrent.

Le manuscrit, un projet technique pour le Prince

Besson, ayant sans doute étudié en Italie devait connaître la puissante tradition manuscrite et illustrée des livres de mécaniques. Les thèmes dont il use sont d'ailleurs en grande partie empruntés à ceux de Taccola. Bien que les emprunts de Besson semblent assez minces, c'est là une première source d'inspiration³⁰. Par ailleurs, il est difficile de savoir ce que le projet manuscrit doit à Jacques Androuet du Cerceau, d'autant que celui-ci n'est pas cité. La rencontre a sans doute permis à Besson d'obtenir l'aide d'un excellent dessinateur et d'un homme expérimenté dans ce type de livre. Notons d'ailleurs que « la formule que le manuscrit [de Besson] adopte est proche de celle que de Jacques Androuet du Cerceau développe dans son premier livre d'architecture de 1559 », publié chez Benoist Prevost.

Le manuscrit intitulé « Livre de la plus part des Instrumens et machines / Inventées par Jaques Besson Dauphinois ; Lesquelles servent / a plusieurs beaux effetz pour l'usage des / Mathématiques et utilité Commune » se conçoit comme une œuvre unique, qui n'appelle pas de suite, quand le livre « premier » imprimé appelle d'autres tomes. Outre une dédicace à Charles IX et une préface, le manuscrit comprend une liste de principes théoriques qui disparaît complètement de la version imprimée. Enfin, le manuscrit n'est qu'en français quand l'imprimé est bilingue. Mais la plus grande différence réside dans le contenu même des textes et des figures.

²⁹ Denise Hilard a prouvé que l'écriture n'était pas de Jacques Besson lui-même. Il a donc engagé un scribe pour écrire le texte du livre (et dessiner ?) : Denise HILARD, « Jacques Besson et son Théâtre des instruments mathématiques : recherches complémentaires », *Revue française d'histoire du livre*, 1981, n° 30, pp. 47-69.

³⁰ Ce sont surtout des emprunts concernant des « thèmes » de machines et des formes de mécanismes, comme les contrepoids. Sur ce point, lire Vernard FOLEY, Darlene SEDLOCK, Carole WIDULE et David ELLIS, « Besson, da Vinci, and the evolution of the pendulum », *op. cit.*.

La dédicace du manuscrit débute par une profession de vassalité, qui témoigne de la position de Jacques Besson sur les guerres de religions qui ne cessent régulièrement d'agiter le royaume. Il met en scène un peuple uni, vassal du roi : c'est « l'amour que Dieu ha imprimé au cœur des hommes envers leurs princes souverains et patries »³¹ qui aurait poussé Besson à « quicter les plus plausibles commodités de la vie presente » pour que cet ouvrage arrive dans les mains du roi. Réformé mais de position modérée, il plaide pour la paix³². Il ne propose aucune machine de guerre, ne met jamais en scène ses machines de construction dans un contexte de fortification, ne propose aucun bateau de guerre. Ces choix ne sont pas anecdotiques, ils témoignent d'une rupture par rapport à la tradition antérieure, qui n'hésitait pas à présenter aux Princes des machines de guerre et de puissance. Besson, lui, veut « faire quelque œuvre qui peult proffiter [au] royaume [et à sa] Majesté ».

Rappelons que la pensée de la Renaissance n'est pas libérale : c'est le monarque qui assure la prospérité du pays. En mettant « soubz [son] auctorité et protection royale le livre de [ses] machines et inventions manuelles », Besson esquisse en fait un programme d'amélioration des richesses du royaume par une amélioration de la productivité. Dédié au roi, l'ouvrage est ouvertement rédigé à destination de tous les « geometres, marmiers, marchans, artisans, gentilzhommes, bref pauvres et riches qui y voudront tant peu que ce soit entendre et tout ce pour la conservation, utilité et entretien du bien public », c'est-à-dire la paix et la prospérité. Le Prince est ici garant du bon usage des inventions, et évite aussi que les inventions ne soient utilisées contre le bien public.

Le projet qui apparaît dans ce manuscrit est celui d'un « bon » inventeur de la Renaissance : une personne qui met à disposition du public des choses que ce dernier ne connaît pas. Pour ce faire, Besson ne se contente pas de dessiner ses inventions : il cherche à les appuyer sur des causes précises, qui peuvent prouver les effets. C'est pourquoi toute sa préface est une défense de l'utilité des mathématiques et d'une mécanique aristotélicienne. Une mécanique dont on retrouve les éléments généraux

³¹ Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », British Library, Add Ms 17921. Toutes les citations suivantes sont tirées du même manuscrit, sauf précision contraires.

³² Tout comme les relations de Renée de Ferrare et de Calvin avait été refroidie par le refus de celle-ci d'entrer en conflit ouvert avec les catholiques de la cour, cette position modérée peut expliquer que Besson décide de s'éloigner de Genève très rapidement.

dans les 22 principes que le mathématicien place avant ses inventions³³, complétés par deux sentences issues de son expérience personnelle.

Les légendes des trois premières machines sont plus développées que les autres. Elles témoignent d'un premier projet dans lequel chaque instrument et chaque machine était détaillé. Outre une explication de l'utilité de la machine présentée, Besson entreprend de décrire la composition des machines et donnent quelques précisions sur les proportions des pièces et les matériaux nécessaires. L'explication de l'usage vient donc après une description relativement détaillée permettant de fabriquer la machine. Cet accent mis sur la construction se retrouve dans la première planche qui décrit les principaux « Instrumens vulgaires les plus necessaires a l'œuvre et intelligence de tout ce Livre ». Il s'agit d'une règle, légèrement courbée pour faciliter son usage sur les cylindres, d'un compas simple, d'une règle « servile », molle, faite « pour designer autour de tout cylindre le vray trait de la vis » (un mètre ruban), d'une lime pour réaliser la vis et son écrou, tous deux représentés. Instruments de mesure, outils de fabrication, et position centrale de la vis : Besson veut donner au lecteur quelques indications qui lui permettent de tracer et d'usiner ses machines. Le projet est assez proche des traités siennois, et notamment du des *Trattati* de Martini.

Les légendes suivantes ne sont pas aussi précises. Seul demeure le titre, qui précise l'apport de la machine, son utilité particulière. Sans être une transcription directe, les légendes de l'imprimé se rapprochent de beaucoup de ces titres. Cette réduction des explications laisse de grandes pages quasi-entièrement blanches, et montre que le projet du manuscrit est inachevé. Que s'est-il passé ?

Le Livre premier des instruments, un livre d'inventions courtisan

Ce premier projet manuscrit essuya plusieurs critiques, si nous en croyons la préface du *Livre premier*. Certains auraient « contemn[é] & depris[é] » ses travaux, c'est-à-dire, les auraient méprisé et tenus pour faux. D'autres auraient, « instruit par [sa] conférence », présenté des inventions similaires à celles de Besson. Ces « envieux » allèrent même jusqu'à user de violence :

³³ Nous étudions plus en détail les relations de la science mécanique à l'invention dans « Inventer à la Renaissance », p. 203.

« [plusieurs] envieux qui me voudroyent calomnier, & qui se sont par cy devant efforcez, mesme de violence, de frustrer vostre Majesté de tous mes labeurs & estudes, ce qu'ils eussent executé, si la souveraine autorité, prudence & jugement d'aucuns de vos bons Gentils-hommes & Lieutenans, n'eust devancé leurs entreprises. »³⁴

Vraisemblablement, l'ingénieur a été victime d'une rixe en public, ou d'une tentative de vol à l'arraché, heureusement prévenue par des officiers royaux. Besson ne précise pas qui sont ses agresseurs, si ce n'est qu'ils sont « envieux » de ce qu'il possède, c'est-à-dire ses inventions et la faveur du roi. Il peut s'agir d'inventeurs amateurs et/ou de fabricants d'instruments mathématiques, à l'image de son disciple qui l'avait plagié à Orléans³⁵ ou peut-être de maîtres de différents métiers, ayant peur que les machines leur volent certains travaux. Autre hypothèse plausible dans le Paris tendu par l'approche du mariage d'Henri de Navarre et de Marguerite de Valois et par le droit accordé aux réformés de briguer les fonctions publiques : la haine religieuse aurait poussé certains catholiques à interdire à Jacques Besson l'accès au roi.

Quant aux critiques méprisantes, elles pouvaient aussi venir de milieux savants et conservateurs. Malgré une tentative de séparer les activités des savants et des mécaniciens, la partie théorique du manuscrit de Jacques Besson le faisait s'aventurer sur leurs domaines. Il fallait revoir le projet, et entrer au plus vite sous la protection du roi ou d'un grand seigneur. D'une part, le choix de l'imprimé permettait un élargissement du public, et donc des protecteurs potentiels, d'autre part, pour couper court aux critiques, mieux valait s'en tenir à un seul objectif courtisan.

Besson réécrit alors complètement la dédicace à Charles IX et la préface. Le ton change. La dédicace ne commence plus par un long éloge du souverain et du bien public, mais cherche à apitoyer le roi « très-chrétien » sur un sort dont il espère se libérer :

« Sire, l'amour que Dieu a emprainct au cœur & Esprit de ma fragile nature, semble avoir rendu tesmoignage assez suffisant à vostre Majesté, & au public, du long travail & indicible labeur, que j'ay supporté avant que pouvoir conduire à fin ce present œuvre, & autres, que j'ay cy devant publiez, ensemble ceux que

³⁴ Jacques BESSON, *Instrumentorum et machinarum liber primus - Livre premier des instruments mathématiques*, [Paris], [Fleury Prevost], 1572.

³⁵ Professeur de mathématiques à Orléans, Besson a été victime d'un « vol intellectuel » : un de ses disciples aurait publié un livre sur un des instruments sur lequel il enseignait (Raymond POYNET, *Le Cosmolabe.*, Paris, M. Julien, 1566). Besson répondit en publiant son propre *Cosmolabe* et en obtenant un privilège sur celui-ci (Jacques BESSON, *Le cosmolabe*, Paris, 1567. Voir la notice du *Livre premier des instruments* rédigée par Hélène Vérin sur *Architectura*, <http://architectura.cesr.univ-tours.fr/index.asp>, consulté le 8 mai 2013).

j'espere aydant Dieu & vostre faveur debonnaire, faire mettre en bref sur la presse. »³⁶

Ce changement de registre est le signe d'un changement de posture. De convaincre la raison du roi en décrivant le profit qu'il pourrait en retirer, l'auteur passe à une demande de charité, appuyée par des mentions de Dieu plus nombreuses et plus insistantes. De cette façon, la volonté de Besson d'aider au bien public devient le résultat d'une vocation philanthropique dont Dieu est l'origine : c'est au nom de l'amour envers le bien public que Dieu lui a donné, qu'il a supporté toutes les épreuves de sa vie. Il donne ainsi une légitimité croissante à sa demande d'aide financière : c'est au nom de l'amour de Dieu que le roi doit aider celui qui a donné sa vie pour le bien du royaume sans regarder ses croyances. D'ailleurs, dans la nouvelle dédicace comme dans la nouvelle préface, Dieu et le roi sont sans cesse mis côte à côte et Besson leur assigne le même rôle. Il leur rend grâce de la possibilité qui lui est offerte de publier son livre, et leur demande de l'aider encore, avec la seule différence que l'aide du roi se doit d'être explicitement plus financière que celle de Dieu. Cette aide, Besson lui donne d'ailleurs un objectif très concret : la publication de deux autres livres. Leur description laisse penser qu'il s'agirait de livres plus systématiques. L'idée de réaliser un ouvrage au moins en partie savant n'est pas totalement abandonnée, mais remise à plus tard, une fois sa position sociale bien assurée.

Besson réordonne ensuite son ouvrage. Le rôle de Jacques Androuet du Cerceau y devenant très évident. Cité par l'ingénieur comme graveur principal des images du livre³⁷, celui-ci a sans doute fait beaucoup plus que superviser la production des gravures, conseillant Besson et lui ouvrant la porte, avec l'appui de la duchesse de Ferrare, de plusieurs « sçavants & notables Officiers & Conseillers du Roy » de la bienveillance desquels Besson se réclame. Par ailleurs, du Cerceau a une grande expérience dans l'édition, et tous ses livres sont des succès. Ce n'est sans doute pas par hasard si Besson fait imprimer son *Livre premier* chez Fleury Prevost³⁸, qui avait

³⁶ Dédicace à Charles IX, BESSON, 1571, *op. cit.*

³⁷ Il est certain que du Cerceau a pris en charge lui-même certaines gravures, laissant les autres à son atelier ou à des graveurs de sa connaissance.

³⁸ Si le nom de l'imprimeur n'apparaît pas dans Jacques BESSON, *Livre premier...*, *op. cit.*, l'analyse du matériel typographique utilisé ne laisse aucun doute à ce sujet. Voir Denise HILARD, « Jacques Besson et son Théâtre des instruments mathématiques », *Revue française d'histoire du livre*, 1979, n° 22, pp. 5-38 et Benjamin RAVIER, *Théâtres de machines entre Renaissance et âge classique : le Théâtre des instruments mathématiques et*

recupéré le matériel de son défunt frère Benoist Prevost, qui avait déjà publié un ouvrage de l'architecte.

De plus, du Cerceau connaît le milieu des courtisans et a sans doute su amener Besson aux modifications nécessaires de son ouvrage. Nous observons d'abord un triple abandon : l'abandon de toute mention directe aux Anciens dans la préface et de toute défense des mathématiques, l'abandon des principes et des deux sentences placées en exergue du livre, et l'abandon des longues descriptions au profit de légendes courtes (une phrase) expliquant l'utilité des machines³⁹. Besson se contente de l'appui d'autres savants et de l'affirmation répétée du bon fonctionnement des machines «muny[s] de toutes parts (autant qu'il nous a esté possible) de raisons pregnantes & necessaires, tirées tant de la mathematique, que de la physique. ».

Ensuite, l'auteur étend le domaine du divertissement pour éviter les critiques. Dans le manuscrit, les machines représentées pour le divertissement étaient circonscrites par la mention explicite de leur rôle : « recréer l'esprit », les autres étant *a priori* plus sérieuses. Il s'agit des figures 21, 22, 42, 53 et 60 du manuscrit⁴⁰. Tel n'est pas le cas dans la version imprimée où toutes les machines peuvent potentiellement être représentées pour la recreation de l'esprit, coupant court à toute critique sur la validité de la représentation.

Enfin, la préface est réorientée, dans l'objectif de trouver un mécène. L'auteur explique ainsi qu'il « espere que Dieu, par la liberalité & debonnaireté du Roy, & autres vertueux Seigneurs, [lui] fera encore une fois la grâce d'augmenter, revoir, & amplement interpréter [son livre] »⁴¹, toujours dans le but annoncé du bien public. En réalité, il semble clair que ce sont en premier lieu à de futurs mécènes auxquels s'adresse désormais le livre des instruments. D'ailleurs Besson ne reprend pas la liste des métiers qu'il avait énumérés dans la dédicace du manuscrit, mais rappelle plutôt son labeur continu et sa misère, tant dans la dédicace que dans la préface. Il insiste sur les conditions physiques dans lesquelles l'a mené sa vie de recherche continuelle « des

mécaniques de Jacques Besson, sous la direction d'Olivier Christin et Anne-Françoise Garçon, ENS-LSH, Lyon, 2008.

³⁹ Comme chez du Cerceau, ces légendes sont gravées en latin sur les planches, et la traduction française est placée en amont, au début du livre.

⁴⁰ Cela correspond aux planches 18, 19, 42, 51, 59 de Jacques BESSON, *Livre premier...*, *op. cit.*. Tous ces renseignements sont tirés de Denise HILARD, « Jacques Besson et... recherches complémentaires », *op. cit.*

⁴¹ Préface de Jacques BESSON, *Livre premier...*, *op. cit.* Nous soulignons.

choses rares et exquises », faite de lectures et d'expérimentations. Exagération ou réalité, il explique même que son empressement à publier cet ouvrage, quoiqu'incomplet de son propre aveu, est du à la peur de mourir sans le finir et ainsi de priver le public « de ceste bonne moitié ». Il prie donc le lecteur, et d'abord le potentiel donateur, de se contenter « en attendant meilleure commodité » de ces premières inventions, sans trop d'explications. Une humilité courtisane qui tranche avec le ton volontariste du manuscrit.

Besson meurt peu après, si ce n'est lors du massacre de la Saint-Barthélemy le 24 août 1572⁴², du moins avant octobre 1573 où sa « veuve » signe un contrat avec l'imprimeur et libraire protestant Jean Lepreux qui s'engage à la ramener à Lausanne avec « un paquet de hardes pesant cent livres [environ 50 kg] ». Dans ces biens, la veuve emporte les plaques de cuivre de du Cerceau ayant servies à l'impression du *Livre premier des instruments*. C'est à Genève que Claude Juge et Jean de Laon publient, à partir de ces planches, le *Théâtre des instruments mathématiques et mécaniques*, premier théâtre de machines. Le livre connaît trois éditions la même année, puis une nouvelle en 1579. La première, bilingue français-latin, est une réimpression. La dédicace est supprimée et seule demeure une préface. Cette édition semble la plus répandue. La seconde, en latin uniquement, voit les légendes de chaque image étoffées par des commentaires de François Beroald⁴³. La troisième, en français, voit l'ensemble complété par une nouvelle dédicace du même Beroald à François Hasting. L'édition de 1579 est calquée sur l'édition française de 1578. Le livre est ainsi assez largement diffusé dans le monde germanique, comme dans le royaume de France via différentes foires.

Des livres d'inventions pour la carrière des ingénieurs (1579-1587)

Avant de revenir sur la mise en place des caractéristiques du genre des théâtres de machines par les éditeurs genevois successifs, il nous faut revenir sur d'autres livres

⁴² Renée de Ferrare était elle-même à Paris à cette date, et elle cacha des protestants dans l'hôtel de Nemours.

⁴³ Certains prétendent qu'il s'agit de François Bérod, le parrain de la fille de Besson. Voir Denise HILARD, « Jacques Besson et... », *op. cit.*. Il semble plutôt qu'il s'agisse de François Beroalde de Verville, fils de Mathieu Beroalde (Brouard de son vrai nom), qui fut l'élève de Jacques Besson à Montargis. Voir Daniel REGNIER-ROUX, « Le rôle de Jacques Androuet... », *op. cit.*.

d'inventions, parus à la suite de l'édition princeps du Besson, ou peut-être de la première impression de Genève, non commentée. Le *Livre premier des instruments* fut cher à produire et ne fut sans doute tiré qu'à quelques exemplaires, peut-être une centaine⁴⁴. Cette édition a sans doute été distribuée à plusieurs mécènes potentiels, de grands seigneurs notamment, et peut-être à quelques privilégiés dans le milieu protestant.

Jean Errard, héritier direct de Besson

Ainsi le réformé Jean Errard de Bar-le-Duc (1554-1610) a eu connaissance de cette édition *princeps* du livre de Besson, à moins qu'il n'en ait eu connaissance par l'intermédiaire du catholique duc Charles III de Lorraine, au service duquel il était entré entre ses 20 et ses 25 ans⁴⁵. C'est à 30 ans, en 1584, que l'ingénieur publie à Nancy⁴⁶, un *Livre premier des instruments mathématiques / mechaniques*. Le titre, présenté de façon tout aussi sobre que dans l'édition parisienne du livre de Besson, ne permet aucune ambiguïté : Jean Errard se situe dans la suite du dauphinois, lui emprunte sa forme littéraire, dernier avatar de ces traités de machines du XV^e siècle, dont Errard avait sans doute eu connaissance lors de voyages en Italie ou en Allemagne. La continuité est encore plus nette quand on sait l'absence de toute mention de livre second dans la dédicace ou la préface du livre, l'auteur ne mentionnant que d'imprécis « autres desseings [...] imparfaicts ». L'adjectif « premier » dans le titre du livre d'Errard sonne alors comme une véritable citation. Seule différence de présentation, sans doute due à des raisons financières, le livre d'Errard est un grand in-quarto, d'une qualité esthétique légèrement moindre que celle du livre de Besson, imprimé en in-folio.

La situation de Jean Errard, quoique similaire, est légèrement différente de celle de Jacques Besson. Déjà entretenu par Charles III de Lorraine, il n'a pas besoin de réclamer protection. Cependant il s'ennuie, ou du moins se plaint de son oisiveté. Dit autrement, s'il garde sans doute quelques avantages de sa position, il n'a pas de commandes. Le livre est là pour se rappeler au souvenir de son souverain et lui prouver

⁴⁴ Pour plus de précision sur la production voir « Une littérature au rayonnement européen », p. 95.

⁴⁵ Pour plus de précisions sur la vie de Jean Errard de Bar-le-Duc, nous renvoyons à la préface d'Albert France-Lanord dans Jean ERRARD et Albert FRANCE-LANORD, *Le Premier livre des instruments mathématiques mécaniques*, Paris, Berger-Levrault, 1979.

⁴⁶ Chez Jan Nanson, imprimeur du duc de Lorraine. Son ouvrage est sans doute un des premiers à être imprimé dans la capitale lorraine.

de quoi il est capable, lui garantir ses capacités et l'encourager à l'employer à des tâches utiles, et sans doute à la fois plus rémunératrices et plus glorieuses, bien que cela ne soit jamais dit. Errard professe en effet le bien public et place ses travaux sous l'autorité du duc, « gardienne du bien de son peuple ». Le ton est d'ailleurs plus proche du manuscrit de Besson, non qu'Errard l'ait lu, mais simplement que la pensée qui préside à l'ouvrage, et la situation, soient similaires.

La préface, tout aussi courte que la dédicace, propose sa vision de l'invention sur laquelle nous reviendrons. Notons simplement que, renversant la proposition de Besson, qui appuie ses inventions sur les mathématiques, le lorrain tient *a priori* comme juste ce qu'on ne lui a pas démontré comme étant faux par « raison & demonstrations geometriques ». Les mathématiques ne semblent plus être à l'origine du projet, mais viennent en second, pour valider une machine. L'organisation de l'ouvrage quant à lui est très proche du *Livre premier* de Besson. Les légendes des quarante figures présentées sont d'abord données au lecteur en français, placées en bloc avant les figures, puis, placée sur chaque gravure, nous trouvons la légende latine. La syntaxe est la même : en quelques mots l'ingénieur précise l'utilité de la machine, ce qui suffit à l'identifier. Seules deux ou trois machines bénéficient d'un petit développement, en français uniquement, pointant la nouveauté de la machine.

Ici, comme avec Besson, le livre d'inventions sert à démontrer ses compétences, à asseoir une légitimité. Il emprunte volontairement à son collègue et coreligionnaire une forme littéraire qu'il a du juger bonne à remplir ses objectifs : à la fois proches et différents de ceux des carnets et traités manuscrits italiens ou allemands. Le livre d'Errard est aujourd'hui très rare, il fut sans doute très peu diffusé et ne connut qu'un succès limité. D'ailleurs, l'ingénieur réformé quitta Charles III de Lorraine quand celui-ci adhéra à la Ligue, pour se placer au service d'un de ses grands ennemis, le réformé duc de Bouillon, seigneur de Sedan et de Jametz⁴⁷. Il n'en demeure pas moins que ce livre est un intéressant témoignage de l'influence de la nouvelle forme de traité inaugurée par Jacques Besson.

⁴⁷ Sa réputation dans les armées fidèles à Henri IV lui vaut d'entrer au service du roi en tant qu'ingénieur des fortifications.

D'autres livres d'inventions : Isacchi, Bachot

Sans que la filiation soit aussi évidente, d'autres livres d'inventions fleurissent à cette période. L'un des plus originaux est sans doute celui de l'italien Giovanni Battista Isacchi. Né, vers 1536 à Reggio d'Emilie⁴⁸, entre Parme et Modène, il est connu comme ingénieur, d'abord spécialisé dans la décoration de fêtes, et vraisemblablement dans les feux d'artifices⁴⁹. C'est un homme déjà expérimenté qui publie ses *Inventioni* en 1579 à Parme, chez Seth Viotto. Le livre, qui peut se réclamer de l'appui du duc de Savoie Emmanuel-Philibert, est dédié à son maître, Cornelio Bentivogli, lieutenant-général du duc de Ferrare Alphonse II d'Este, fils de la protectrice de Besson Renée de Ferrare. Peut-être celle-ci avait-elle envoyé un exemplaire du *Livre premier* à son fils et qu'Isacchi en a eu connaissance par ce biais ; d'autant qu'Alphonse II est le destinataire d'une seconde dédicace placée à la fin de l'ouvrage.

Comme le livre d'Errard, le livre d'Isacchi est moins prestigieux que le Besson : petit in-quarto, il présente des gravures sur bois assez grossières et non des gravures sur cuivre. L'ensemble comprend 53 images, auxquelles s'ajoute une « note d'autres inventions »⁵⁰, qui liste une douzaine d'inventions que l'auteur se réserve pour imprimer à de nouvelles occasions. L'auteur espère sans doute entretenir ici une attente, tout en s'accordant la reconnaissance de l'invention de ces machines. La structure du livre est complètement différente de celle de Jacques Besson. En plus d'une dédicace générale à Bentivogli, Isacchi rédige une dédicace après chaque invention pour différents grands personnages italiens. De plus, chaque invention est décrite par un court paragraphe qui explique succinctement le fonctionnement de l'invention présentée. Difficile de définir ce que la forme littéraire des *Inventioni* doit à l'œuvre de Besson, et peut-être l'italien s'inspire-t-il aussi des manuscrits médiévaux, mais il est clair que ce type de catalogue d'inventions⁵¹ répondait à un besoin des ingénieurs, était nécessaire sinon pour trouver des commandes, au moins pour asseoir leur réputation. Ici, comme chez Jean Errard, cet appareil dédicatoire semble en effet avoir pour objectif de faire progresser l'auteur

⁴⁸ Cette courte biographie est tirée d'une notice de l'agence Christie's pour la vente d'un exemplaire des *Inventioni*, disponible à cette adresse : <http://www.christies.com/lotfinder/lot/isacchi-giovanni-battista-1932474-details.aspx?intObjectID=1932474> (consulté le 7 décembre 2012).

⁴⁹ Son livre d'inventions contient notamment une brève explication de la fabrication de poudre, et il deviendra plus tard artilleur.

⁵⁰ Giovanni Battista ISACCHI, *Inventioni*, Parme, Seth Viotto, 1579. Texte original : « Nota d'altre inventioni »

⁵¹ Isacchi utilise l'expression de « Repertorio di Secreti ».

dans sa carrière. Pour Isacchi, cela a fonctionné : en 1596, il est nommé chef artilleur du duc de Ferrare.

Le *Timon* d'Ambroise Bachot obéit à cette même logique. Né vers 1540, Ambroise Bachot est d'une famille de peintres, graveurs et imprimeurs, auprès de laquelle il apprend sans doute le dessin. En 1571, il est au service du célèbre ingénieur Agostino Ramelli, et dessine pour lui. C'est ainsi que du dessin, il embrasse une carrière dans le génie militaire. Devenu capitaine, il publie le *Timon* en 1587, dans lequel il explique ouvertement être à la recherche d'un protecteur. Le livre est étonnant à plus d'un titre. Entièrement gravé sur cuivre, aucune partie n'est imprimée en caractères mobiles. Cela s'explique sans doute par une volonté d'autoédition, son frère Laurent, graveur qui vit avec lui à la maison de la croix-blanche rue de Seine, n'ayant sans doute qu'une presse à taille-douce et pas d'imprimerie à caractères mobiles⁵².

Il est par ailleurs difficile de faire de cette œuvre un simple livre d'inventions. En effet, le livre est avant tout un traité de fortification⁵³, comprenant des indications de dessin géométrique, d'arpentage et une vision du projet de défense fondée sur l'observation et l'occasion⁵⁴. Seules quelques inventions (19 en comptant les inventions militaires et l'instrument « la barque ») sont placées en fin d'ouvrage. Cependant, l'insistance de l'auteur sur la paternité de ses inventions, la syntaxe des très courtes légendes et surtout sa dédicace à Louis de Nogaret, conseiller du roi et grand chef militaire, qui reprend les mêmes arguments des autres livres d'inventions permettent de le faire entrer dans cette tradition. L'objectif est toujours d'avancer dans sa carrière (vraisemblablement, son maître Ramelli venait de prendre sa retraite), promettant là encore une augmentation de son œuvre : « Jay esté conseillé par mon bon Génie de chercher a ce petit coup d'essay, avantcoureur d'autre chef d'œuvre ». En attendant, les explications étant plus que sommaires, l'auteur, malin, invite tout lecteur intéressé à venir quérir de nouvelles informations directement chez lui, où il pourra mettre en valeur tout son savoir.

⁵² Les gravures sur cuivre, en creux, nécessitent une très forte pression que les presses « Gutenberg » classiques ne permettent pas. Il faut donc recourir à une presse spécifique, dite à cylindre, qui permet une plus grande pression.

⁵³ Voir la notice du *Timon* d'Ambroise Bachot, rédigée par Hélène Vérin dans « Architectura », *op. cit.*

⁵⁴ En cela, le livre de Bachot appelle plutôt le livre de Lorini publié en 1606 que les théâtres de machines. La principale différence réside justement dans la paternité des machines représentées.

Tous ces livres d'inventions, aussi bien ceux de Besson et d'Errard que ceux d'Isacchi et de Bachot, obéissent à une logique de don / contre-don, bien expliqué par Natalie Zemon-Davis⁵⁵. Les faveurs reçues par ces ingénieurs appelaient non seulement leur travail concret comme inventeur, mais l'écriture d'une œuvre qu'ils pouvaient remettre personnellement à leur protecteur. Les dédicaces d'Isacchi sont autant des contre-dons envers plusieurs de ses protecteurs antérieurs que des appels à de nouveaux mécènes. Le caractère presque confidentiel de la plupart des éditions et autoéditions accentue encore cet aspect personnel du contre-don.

Mais la plupart de ces livres sont aussi des dons qui appellent un contre-don, sous forme de titre, d'argent ou de commande à satisfaire. Tous en effet, de façon plus ou moins explicite, laissent entendre qu'il pourrait y avoir une suite à leur ouvrage. L'amélioration des explications, la description d'autres inventions, la rédaction d'autres traités sont autant de contre-don promis si les seigneurs daignent protéger les ingénieurs. Comme en Italie et en Allemagne dans le siècle précédent, les livres d'inventions sont au centre de la constitution d'un corps intermédiaire d'ingénieurs : ce sont les outils non d'un début de carrière (sinon quelle légitimité auraient-ils à écrire de tels ouvrages ?), mais d'une élévation au dessus de la condition d'officiers du génie subalternes ou d'inventeurs occasionnels, embauchés pour telle ou telle tâche.

Le livre de Salomon de Caus a été publié en 1615 pour des raisons similaires, et si les choses sont plus nuancées pour ceux d'Agostino Ramelli et de Joseph Boillot, ils obéissent à une même logique de don et contre-don. Tous ces ingénieurs ont cherché à présenter leur savoir et leurs inventions pour asseoir leur autorité et légitimer les faveurs passées ou à venir d'un roi de France : Henri III pour Ramelli, Henri IV pour Boillot, Louis XIII pour S. de Caus. Seulement le ton et la présentation changent, les arguments liés à l'auteur sont complétés par des arguments plus généraux de formation, et la présentation des machines se précise. La matrice de ce nouveau type de livres d'ingénieur est là encore l'ouvrage de Besson, ou plutôt ses premiers avatars genevois. C'est la naissance des théâtres de machines.

⁵⁵ Natalie ZEMON DAVIS, *Essai sur le don dans la France du XVIe siècle*, traduit par Denis TRIERWEILER, Paris, Éd. du Seuil, 2003..

En parallèle : l'émergence des théâtres de machines **(1578-1588)**

L'expression de théâtre de machines est employée pour la première fois en 1578, lors de la première réédition de l'ouvrage de Besson. L'historiographie en attribue généralement la paternité à François Beroald. Les différentes éditions du livre ont un tel succès dans toute l'Europe que, sans être reprise dans d'autres titres, l'expression semble toutefois faire florès dès cette période et désigner de façon générique tout le corpus. Le fait qu'en 1607 l'éditeur padouan Pierre Bertelli édite un « *Nouveau Théâtre de machines et édifices*⁵⁶ » montre qu'il s'appuie sur un implicite partagé avec le lecteur averti : celui qu'il existe avant ce livre de « vieux » théâtres de machines. Afin de faciliter la lecture, nous proposons de distinguer, dans la suite de la thèse, les « livres d'inventions » (Besson 1572, Isacchi, Errard, Bachot) que constituent ces livres aux tirages modestes et autoédités par des ingénieurs, les premiers « théâtres de machines » (Besson 1578, Ramelli, Boillot) dont nous allons étudier la construction, les « nouveaux théâtres de machines » (Zonca, Caus, Veranzio, Strada, Branca), et ceux de la piste allemande (Zeising, Böckler, Leupold). L'expression généraliste « livres de machines » nous permettant d'englober l'ensemble du corpus sous un seul vocable.

Les premiers états du *Theatrum instrumentorum et machinarum* à Genève

Revenons donc à l'histoire du livre de Jacques Besson. Plusieurs personnages entrent en scène. Il y a d'abord la veuve de Besson, Nicolarde Dognon, qui dispose du statut de bourgeoise de Genève et doit sans doute y être rentrée depuis Lausanne et y avoir retrouvé François Beroald. Ce dernier est au cœur du projet de réédition, et parvient à convaincre l'imprimeur Jean de Laon de fournir presse et matériel typographique et au « brasseur d'affaire » Claude Juge⁵⁷ d'investir le capital de départ nécessaire à l'impression d'un premier tirage. Il semble que François Beroald ait eu comme ambition de réaliser le projet initial de Jacques Besson, mais n'ayant pas sa

⁵⁶ Vittorio ZONCA, *Novo teatro di machine et edificii per varie et sicure operationi*, Padoue, Pietro Bertelli, 1607, 144 p.

⁵⁷ Claude Juge fut conseiller et receveur général du roi en lyonnais et diplomate au service de Nicolas de la Croix. Il se marie avec Anne Gabiano, sœur de deux imprimeurs lyonnais réfugiés à Genève. Il entre ainsi dans le milieu de la librairie. Nous devons l'expression de « brasseur d'affaire » à Hélène Vérin dans sa notice de l'édition de 1579 du Besson, disponible sur « Architectura », *op. cit.*

science, il ne pu réaliser pleinement un ouvrage savant. D'autant moins que cet objectif se mêle à l'intérêt commercial des deux investisseurs. D'un aspect courtisan, le livre prend donc un aspect de vulgarisation, et c'est là le cœur de cette nouvelle forme littéraire des théâtres de machines.

Revenons sur le titre. L'historiographie récente rattache volontiers l'expression de « théâtre de machines » au sens que lui donne le philosophe italien Giulio Camillo dans *L'idea del Teatro* : un théâtre mental, organisé et mnémotechnique⁵⁸. Il est fréquent d'ajouter à cette parenté, une accointance avec l'idée baroque et que nous pensons fréquente, d'un monde-théâtre, où chacun joue son rôle comme un acteur. L'époque est pourtant porteuse d'un autre sens littéraire du mot théâtre, plus général, et que Louis van Delft a bien su décrire⁵⁹. Désignant un genre littéraire, le mot se réfère à un projet encyclopédique dont la matrice est le *Theatrum vitae humanae* de Theodor Zwinger, médecin et humaniste de Bâle, et dont François Béroald connaissait vraisemblablement l'œuvre. De nombreuses traditions dérivèrent de ce projet, à l'origine rhétorique : les théâtres de moral (recueil d'*exempla*), les théâtres du monde (atlas), ou les théâtres d'antiquités (recueil de bâtiments anciens à visiter). L'idée qui présidait à la réalisation de chacun de ces ouvrages n'était rien de plus que la monstration :

« De tels *Théâtres* exhibent, étalent, exposent, passent en revue, inventorient, détaillent, cataloguent. Ils ne cherchent pas, comme l'*ars memoriae*, à engrammer dans la mémoire. Très généralement, ils ne poursuivent pas d'autre but que de dénombrer, indexer, ordonner et donner à connaître. »⁶⁰

Le lecteur devait avoir connaissance de cette partie mécanique de la connaissance humaine, et tel était l'objectif que se sont fixés les éditeurs genevois du *Théâtre des instruments* de Jacques Besson. Pour cela, outre le changement de titre et la mise en place d'un beau frontispice, le livre acquiert, en quelques éditions, de nouvelles caractéristiques.

Dès 1578 apparaît un autre changement important : la dédicace et la préface de Besson disparaissent au profit d'une nouvelle préface au lecteur rédigée par François

⁵⁸ C'est notamment le point de vue développé dans Luisa DOLZA et Hélène VERIN (dirs.), *Il Theatrum di Jacques Besson, op. cit.*

⁵⁹ VAN DELFT Louis, « L'idée de théâtre (XVIe -XVIIIe siècle) », *Revue d'histoire littéraire de la France*, 2001, vol. 101, n° 5, pp. 1349-1365..

⁶⁰ *Ibid.* p. 1351-1352.

Beroald. L'humaniste efface d'un trait toute trace courtisane de la dédicace et de la préface de Besson, et rédige un éloge de l'ingénieur.

Les autres éditions de 1578 et celle de 1579 voient apparaître le second changement majeur, et de loin le plus important : la mise en place d'un commentaire sur chaque machine. Comme le titre de théâtre le laisse entendre, ces courts textes – un paragraphe pour chaque machine – visent à montrer les machines au lecteur, et ne sont là que pour compléter une image qui garde une place centrale : « tout ce qu'appartient à la figure de la présente Machine, nous est à mon advis clairement icy mis devant les yeux : toutesfois il me plaist encor de l'expliquer »⁶¹. L'image se suffirait parfois à elle-même, il s'agit cependant de retenir le regard sur la machine en proposant un texte descriptif, et volontairement redondant.

Pour décrire la machine, Beroald met en place un référentiel imprimé en arrière plan, qui lui permet de repérer dans l'espace les différentes pièces d'une machine et qui vient remplacer les lettres de références qui avaient été supprimées dans le passage du manuscrit à l'imprimé. Les légendes reprennent ensuite une grammaire assez similaire à celle que Besson utilisait dans son manuscrit. Les différentes parties de la machine sont mentionnées, bien que certaines, dites « vulgaires », c'est-à-dire censées être connues du lecteur, ne soient pas décrites en détail. En réalité, seules les pièces et mécanismes nouveaux, que le lecteur pourrait avoir des difficultés à comprendre, font l'objet d'une analyse particulièrement détaillée. Le commentateur insiste donc sur ce qui fait « mouvement », sur le point où réside l'invention, la trouvaille. Les inventions gagnent en intelligibilité et le livre connaît un certain succès.

Cependant sa mutation n'est pas tout à fait terminée. En 1582, Claude Juge, devant le succès des éditions de 1578, demande à Giulio Paschali, lettré réformé italien réfugié à Genève de traduire l'ouvrage en italien. Celui-ci, non content d'accepter, ajoute aux commentaires de Beroald ses propres « additions ». Elles viennent préciser des points laissés dans l'ombre par Beroald, notamment sur ces mécanismes « vulgaires ».

⁶¹ Déclaration de Beroald à la 49^e figure de Jacques BESSON, *Théâtre des instrumens mathématiques et mécaniques de Jaques Besson, ... avec l'interprétation des figures d'iceluy, par François Béroald.*, Lyon, B. Vincent, 1578.

De plus, pour améliorer la lecture de l'ouvrage, Claude Juge modifie la mise en page. Les légendes latines des images sont cachées pour améliorer la cohérence des images. Les textes ne sont plus placés, sous forme de liste, au début de l'ouvrage, mais ils sont mis en vis-à-vis des images. Chaque double-page étant ainsi constituée d'une image et de ses trois légendes⁶², facilitant les allers-retours entre texte et image et la compréhension de la machine. Un modèle de mise en page repris, quelques années plus tard, par l'« Archimède de son temps »⁶³, Agostino Ramelli.

Le diverse et artificiose machine d'Agostino Ramelli

Agostino Ramelli est un ingénieur militaire italien, réputé non tant pour ses inventions que pour son savoir sur la fortification militaire et la poliorcétique⁶⁴. Il fut d'abord sous les ordres du marquis de Marignan, qui meurt en 1555. Nous le retrouvons au service d'Henri d'Anjou, futur roi Henri III, qu'il ne quitte plus. À en croire les témoignages tant d'Ambroise Bachot que d'Agostino Ramelli lui-même, le prince et l'ingénieur étaient proches et s'appréciaient grandement, Henri d'Anjou n'ayant pas hésité à s'occuper du fils de Ramelli pendant la captivité de ce dernier à la suite du siège de La Rochelle.

Quand, en 1588, Ramelli entreprend de rédiger ce livre de machines, de loin le plus célèbre avec celui de Jacques Besson, le contexte est différent de ceux des livres d'inventions. Ramelli est un ingénieur retraité, jouissant d'une bonne réputation. Il n'a plus à faire valoir son génie. Le livre est pensé ici comme un contre-don au roi pour toutes ses générosités. Le livre n'est pas un pauvre cadeau. En effet, bien que l'ingénieur ne fasse appel à aucun libraire pour le diffuser, la qualité de la présentation, avec des filets et des encadrés très élégants, de beaux culs-de-lampes, et des lettrines ornées témoigne d'un matériel et d'un savoir-faire professionnel de grande qualité. Il contient 195 grandes gravures sur cuivre de très bonne facture – soit plus du triple que le Besson –, certaines sur deux pages, et toutes représentées avec décor et personnages. Ce livre, grand in-folio, est donc un objet imposant et luxueux, littéralement digne d'un roi. Les possesseurs ne s'y trompaient pas : tous les

⁶² La « proposition » de Besson, la « déclaration » de Beroald, et l'« addition » de Paschali sont bien distinguées.

⁶³ Nous devons cette expression à Ambroise Bachot, qui fut son disciple.

⁶⁴ Pour plus de précisions sur la vie de Ramelli, voir Alexander Gustav KELLER, « Review: Renaissance Theaters of Machines », *T&C*, Juillet 1978, vol. 19, n° 3, pp. 495-508.

exemplaires que nous avons pu consulter sont reliés en cuir, et le plus souvent dans un bon état qui témoigne du soin apporté à leur conservation⁶⁵.

Ouvrons alors ce bel ouvrage. Après les frontispices et pages de titre, le livre commence par une dédicace qui consiste principalement en un grand éloge du roi Henri III. L'auteur, par ailleurs réputé, se fait ici bien plus modeste que Jacques Besson : alors que le livre contient la plus imposante collection de gravures de machines de tout le corpus, Ramelli parle de « petits labeurs ». Sa légitimité et son génie, l'ingénieur les appuie sur trois piliers : le bien public par le biais du roi, la confiance de ceux qu'il a servis, qui témoigne de l'utilité de ses actes, et sa connaissance des mathématiques, sur laquelle Ramelli insiste plus qu'aucun avant lui.

Ramelli n'a donc ni d'objectif carriériste, ni d'objectif courtisan. Le nombre d'exemplaires qui ont circulé et sont encore connus aujourd'hui prouve un tirage trop important pour une distribution dans un cercle restreint de protecteurs potentiels. Gageons, vu la bonne position sociale de Ramelli et l'investissement couteux de l'ouvrage, qu'il ne visait pas non plus le succès littéraire. Son livre est donc d'abord et avant tout un livre pédagogique, qui vise à permettre au lecteur de se familiariser avec la mécanique.

La tonalité du livre, comme celle des éditions genevoises du livre de Besson, est donc assez didactique. Ramelli explique même qu'il présente là ses « Demonstrations mathematiques, ou mechaniques », une sorte de sous-titre qui laisse suffisamment entendre le côté sinon théorique, du moins explicatif, qu'il souhaite donner à son œuvre.

La théorie, en effet, est absente. Ramelli propose à la place un discours sur l'histoire et l'excellence des mathématiques, et surtout un nouveau mode de rédaction des légendes. Elles sont écrites en deux étapes : la première donne en une phrase l'usage de la machine et son utilité ; la seconde décrit le « chemin cinématique »⁶⁶. Il s'agit de décrire le fonctionnement de la machine depuis le moteur jusqu'à la partie instrumentale. Peu d'explications sont données concernant le matériau ou les

⁶⁵ Encore aujourd'hui, une version originale et complète du livre de Ramelli se vend plus de 20 000 euros (parfois bien plus), bien qu'il ne soit pas le plus rare des théâtres de machines. Pour comparaison, une édition originale du *De Re Metallica* complet se vend à partir de 15 000 euros, une édition de 1578 du livre de Jacques Besson à partir de 5 000 euros.

⁶⁶ L'expression est employée en anglais (« kinematic path ») par Wolfgang Lefèvre et Markus Popplow dans leur *Database Machine Drawings*, *op. cit.*

caractéristiques des différentes pièces, sinon celles strictement nécessaires à la compréhension du mouvement de la machine :

« Autre façon de machine, pour faire monter fort facilement l'eau d'une rivière, ou de quelque autre lieu bas à une proportionnée hauteur avec l'ayde d'un, ou de deux hommes [1^{ère} étape] : pource qu'iceux cheminans dans la grande rouë notée A, font tourner les deux petites rouës, qui sont fichées dans l'escieu d'icelles notées BC, lesquelles estant dentées l'une au contraire de l'autre, font tourner la lanterne D, qui est mise au milieu d'icelles, tantost d'un costé, tantost de l'autre [...] de là puis apres par ce conduit que l'on voit noté Z, l'on conduit l'eau où bon il semble. [2^e étape] »

Aucune explication quant à la fabrication ni à la forme des mécanismes, visibles sur le dessin. Les pièces sont en effet directement repérables grâce à un système de lettres de références et une mise en page plaçant texte et image en vis à vis. L'usage en est cependant différent, puisqu'il ne s'agit plus ici de repérer une pièce pour la décrire, mais de lui donner une place dans l'espace et la chaîne cinématique. Ce nouveau type de légende fait école, et nous le retrouvons encore à la fin du XVII^e siècle.

D'aspect pédagogique, le livre vise la compréhension de la machine davantage que sa fabrication. Il s'adresse à ceux qui prendront des décisions, seigneurs, généraux, ou ingénieurs. Sans en avoir le nom, cette nouvelle façon d'écrire des théâtres de machines, devient vite, avec le livre de Jacques Besson, une référence qui modèle ce genre littéraire et les genres voisins dans les années suivantes.

Ainsi le livre des *Modelles, artifices de feu et divers instruments de guerre* que l'ingénieur des poudres de Langres, Joseph Boillot, publie en 1598 à Chaumont-en-Bassigny. Le thème du livre relève davantage de la pyrotechnie sur laquelle Vanuccio Biringuccio avait déjà rédigé un traité, mais la forme reprend le modèle des théâtres : une succession d'inventions dont l'usage et le fonctionnement sont décrits selon le chemin cinématique, auquel s'ajoutent quelques conseils d'usage liés à la sécurité. Le livre, commençant par une description du levier d'Archimède marque d'ailleurs cette parenté mécanique. De même, la partie du traité de Lorini portant sur les machines doit beaucoup à ce nouveau développement du genre.

Deux évolutions du genre (1607-1615)

Plusieurs nouveaux auteurs renouvèlent ensuite le genre, dont les règles implicites avaient été fixées par les éditions successives du Besson et du Ramelli. Toutes ces

évolutions pourraient se résumer en un leitmotiv : rendre les machines plus intelligibles. Mais les modalités sont différentes, selon les contextes géographiques et la personnalité des auteurs.

La piste italienne : Vittorio Zonca (1607)

Dans l'Italie du Nord de cette fin de Renaissance, la circulation des dessins manuscrits de machines dans les milieux spécialisés est intense. Corollaire : la publication imprimée favorise l'originalité, et peu de théâtres de machines sont réédités en italien. De plus, l'indifférenciation des métiers, entre artistes, architectes et ingénieurs civils est encore la règle dans les multiples États italiens. Vittorio Zonca est l'un d'eux. Nous savons peu de choses de sa vie, si ce n'est qu'il était architecte et maître-artisan de la ville de Padoue, sans doute sculpteur, et qu'il a rédigé en 1599 une carte marquant le tracé de la frontière entre le duché de Mantoue et la république de Venise. Pendant ces années, Padoue est la scène d'un *aggiornamento* intellectuel sur les sciences et les techniques⁶⁷, et les savoirs circulaient. Il est notamment certain que Zonca connaissait l'œuvre de Jacques Besson (il la cite dans son livre), et probablement d'autres théâtres de machines. Il meurt en 1602, laissant inachevé un projet de livre de machines.

Ce dernier est repris par l'éditeur Pietro Bertelli, qui le publie en 1607 sous le titre de *Novo teatro di macchine et edificii*. Le projet était déjà bien avancé, l'éditeur disant simplement avoir voulu « ne pas négliger et abandonner dans les ténèbres les honorables fatigues en cette profession de Monsieur Zonca, architecte padouan, qui m'étaient parvenues dans les mains »⁶⁸. Hormis la préface dédiée à un seigneur mécène, difficile de dire l'apport exact de Bertelli, notamment dans le choix de ce titre qui marque une volonté explicite de renouveler le genre. Quoiqu'il en soit, plusieurs nouveautés marquent ce nouvel ouvrage. La localisation des machines est plus souvent précisée que chez d'autres auteurs, témoignant d'une insistance sur l'observation et la description des machines existantes et des artisans, plutôt que sur l'invention de

⁶⁷ Si nous n'avons aucune trace d'un lien entre les deux, notons tout de même que Galilée, à cette période, enseignait à Padoue.

⁶⁸ Dédicace à Rainuccio Gambara, comte de Virole, dans Vittorio ZONCA, *Novo teatro di machine*, op. cit.. Texte original : "non lasciar'andar'a male, e giacer nelle tenebre le honorate fatiche in questa professione del Sig. Vittorio Zonca Architetto Padouano, che m'erano pervenute alle mani."

nouvelles machines. Entendons par machines existantes, non seulement celles qui furent effectivement construites, comme dans le cas du moulin à filer la soie, dont Zonca nous fournit l'une des premières descriptions techniquement informée, mais aussi des machines issues de manuscrits antérieures, comme les cinq machines copiées des dessins de Francesco di Giorgio Martini.

Cet accent mis sur l'observation se traduit dans la mise en place, très originale, de nombreux outils de référencement : une table liminaire présentant toutes les machines, la présence d'une échelle sur plusieurs images, la mise en place de légendes sous forme de tables référençant chaque pièce sur l'image. De la même façon, si les descriptions suivent bien le modèle de Ramelli (fonction+chemin cinématique), elles sont augmentées de nombreuses précisions matérielles sur la fabrication des machines, leur coût, les matériaux, les mesures de certaines pièces, l'usure, les variantes possibles.

Visitant et décrivant les machines des ateliers et manufactures du Nord de l'Italie, l'auteur obéit à un principe fondamental de la réduction en art⁶⁹, celui de mettre par écrit un savoir menacé de disparition : le savoir particulier à chaque métier et incorporé dans les machines. Sur ce point, la nouveauté principale du livre de Zonca est la rédaction, pour la moitié des machines, d'explications fondées sur la théorie des machines simples. Cet aspect théorique, absent des précédents ouvrages, permet de rendre intelligible ce savoir incorporé, et accentue le rôle pédagogique du livre. Il ne s'agit plus seulement de rendre compte à un puissant protecteur de savoirs mécaniques comme dans le Ramelli, mais de donner les moyens à des artisans d'élever leurs connaissances sur les machines et de profiter des bonnes pratiques. Une telle démarche assoit la légitimité des ingénieurs, qui de concepteurs, se font aussi pédagogues, passeurs de connaissances. Le livre connaît un certain succès, et est réédité par Bertelli et ses descendants en 1621 et 1656.

⁶⁹ Voir note 14 p. 29.

Un traité de mécanique : Salomon de Caus (1615)

Salomon de Caus est un ingénieur français, né à Dieppe en 1576, dans une famille protestante aisée⁷⁰. Sa carrière d'ingénieur débute en 1601 au service des archiducs d'Autriche à Bruxelles, où il s'occupe des jardins, fontaines et automates. Il quitte la ville pour Londres en 1610, et entre au service du prince Henri de Galles, puis de sa sœur Élisabeth Stuart d'Écosse, à qui il enseigne le dessin. En 1612, l'ingénieur publie un ouvrage sur la perspective. La même année, Élisabeth d'Écosse épouse le comte Frédéric V du Palatinat, et Salomon de Caus la suit à Heidelberg. Il s'y rend célèbre en travaillant à la création des jardins du palais du comte. En 1615, il publie *L'institution harmonique*⁷¹ qu'il dédie à la reine d'Angleterre, et trois autres livres réunis sous le titre de *Raisons des forces mouvantes*⁷². Le premier livre, portant précisément sur les forces mouvantes et les machines est dédié à Louis XIII. Le second livre, proposant divers arrangements de grottes et fontaines, est dédié à sa protectrice Elisabeth Stuart. Le dernier livre, réduction en art de la fabrique des orgues hydrauliques n'est précédé d'aucune dédicace. À cette date, l'ingénieur est toujours au service du comte, mais son statut demeure précaire. Par ces ouvrages, il s'assure des appuis à la cour d'Angleterre et à la cour de France. La stratégie fut payante. En 1619, Frédéric V est élu roi de Bohême, dont les habitants protestants avaient déposé l'empereur catholique Ferdinand II. Le nouveau roi part à Prague, et les travaux du palais d'Heidelberg sont arrêtés. En 1620, Salomon de Caus a fui pour Paris, alors que, perdant la bataille de la montagne blanche, Frédéric V est mis au ban de l'empire⁷³. En guise d'adieu, l'ingénieur lui dédie son *Hortus Palatinus*, avant d'entrer au service de Louis XIII, en 1621, pour le nettoyage des boues de Paris et la mise en place de fontaines.

Les Raisons des forces mouvantes obéissent donc à un objectif similaire à celui des livres d'inventions de la fin du XVI^e siècle, d'autant que la préface précise que l'auteur pourrait « l'augmenter de quelques autres gentils desseings », contre-don promis à

⁷⁰ Pour une biographie plus complète de Salomon de Caus, voir Hélène VÉRIN, « Salomon de Caus, un mécanicien praticien », *Revue de l'art*, 129, 2000-3, p. 70-76 ; et C.S. MAKES, *Salomon de Caus 1576-1626*, Paris, 1935.

⁷¹ Salomon de CAUS, *Institution harmonique*, Francfort, Jan Norton, 1615.

⁷² Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes: avec diverses machines tant utiles que plaisantes auxquelles sont adjoints plusieurs desseings de grottes et fontaines*, Francfort, Jan Norton, 1615.

⁷³ Cet épisode marque le début de la guerre de Trente ans. Le fils de Frédéric V, Charles I^{er} Louis, reprit possession des terres du Palatinat par le traité de Westphalie en 1648. C'est à lui que Böckler dédie son *Theatrum machinarum novum* en 1661.

toute commande. Les démarches de rapprochement de la cour de France avaient cependant été effectuées un peu auparavant : l'ingénieur avait obtenu en 1614 un privilège unique pour tous les livres parus en 1615⁷⁴. Pour autant l'ouvrage se démarque largement des premiers livres d'inventions, et dans sa préface, de Caus critique ouvertement les ouvrages de Besson, Ramelli, « et quelques autres » qui ne tiennent pas compte du temps dans la multiplication de la force par les jeux d'engrenages.

C'est que Salomon de Caus hérite aussi de ces nouvelles approches qui accompagnent et renouvellent le genre des théâtres de machines au début du XVII^e siècle. S'appuyant sur son savoir et son expérience, il propose alors un ouvrage scientifiquement plus documenté, à l'image du premier projet de Jacques Besson. En mettant en avant ses propres inventions, il s'éloigne de la réduction en art et des pistes proposées par Zonca et Zeising (observation, compilation, commentaire). Salomon de Caus propose alors un traité qui mêle science mécanique, pratique de l'invention et esthétique d'une façon encore inédite.

Le premier livre, qui nous intéresse, est organisé en 4 parties, qui suivent la dédicace et des poèmes élogieux de l'auteur. La première partie est constituée d'un court « Epistre au lecteur où l'Authheur monstre ce que cest que machine ». La définition est empruntée à Vitruve d'un ouvrage de charpenterie « ou autre materiel » en mouvement. Le reste de la préface explique l'intérêt d'une approche scientifiquement plus informée. La seconde partie poursuit ce travail de définition en expliquant les propriétés naturelles des quatre éléments de la physique aristotélicienne : le feu, l'air, l'eau, et la terre. Elle insiste sur les caractéristiques utiles à leur usage dans les machines, plaçant ainsi l'artifice humain dans la continuité des lois naturelles et non à leur opposé⁷⁵. Suivent ensuite 18 théorèmes, qui font part du savoir acquis par l'ingénieur, tant par sa connaissance des principes de la *statique* que par son expérience et ses expérimentations personnelles. Ces trois premières parties, qui

⁷⁴ Le privilège concerne, en plus du livre sur les forces mouvantes, un autre livre « De la théorie et pratique de Musique », où nous reconnaissons l'*Institution harmonique*, un troisième livre sur la « construction de quelques machines hydrauliques », expression qui recouvre les orgues hydrauliques et pourrait désigner à la fois une partie du premier livre et le troisième livre des *Raisons des Forces mouvantes*, et un dernier livre de « plusieurs desseings de grottes artificielles et fontaines » qui constitue le second livre des *Raisons des Forces mouvantes*.

⁷⁵ Hélène VERIN, « Salomon de Caus, un mécanicien praticien », *op. cit.*

explicitent de façon si ordonnée – comme chez Zeising, les bases théoriques de la pratique de l'ingénieur, fondent l'aspect technologique de son entreprise. Par sa pratique expérimentale, il cherche à mettre à jour des lois physiques utilisables dans l'invention, en mêlant ainsi théorie et pratique, il permet à l'art de l'invention mécanique d'avoir sa « spéculation », selon le mot de Diderot⁷⁶.

Son panorama de machines complète le dispositif. Il ne les présente pas comme des inventions ayant une fonction, mais retourne la proposition, et usant d'un mode de présentation pédagogique euclidien, présente ses machines comme des solutions à des « problèmes ». L'intitulé est en réalité plus proche de ce que pourrait être une commande : « Pour faire eslever par le courant d'une riviere, & la force de la pompe »⁷⁷. Il se place ainsi dans la position de l'ingénieur devant régler un problème concret et propose un artifice, tout en usant de la rhétorique savante des traités de philosophie ou de mathématique.

Les descriptions de machines suivent le chemin cinématique, mais sont agrémentées de nombreuses remarques sur les modalités de fabrication. Les mesures des pièces sont données. L'auteur rappelle de quelques uns des théorèmes énoncés au début du livre pour expliquer à l'auteur les raisons de quelques agencements. L'idée d'exemple est ici dépassée par celle de compte-rendu d'une expérience scientifique, à la façon de Robert Boyle avec sa pompe à air⁷⁸. Les descriptions détaillées poussent d'ailleurs parfois l'ingénieur à s'excuser pour sa prolixité.

Ce souci pour le lien savant se retrouve aussi dans la quantité et la succession des machines. Là où Besson présentait 60 machines et Ramelli 195, Salomon de Caus ne présente que 35 « problèmes », dont plusieurs ne sont constitués que de précisions par rapport à des machines présentées antérieurement. Cette diminution s'accompagne de modalités de successions définies explicitement. Ainsi, avant de présenter trois pompes il explique « je monstrey trois moyens pour se servir à eslever l'eau par ceste machine ». Plus loin, c'est pour donner corps au projet cohérent d'une grotte dans laquelle « une Galatée qui sera trainée sur leau par deux daufins, allant en ligne droite,

⁷⁶ « tout *Art* a sa spéculation & sa pratique » écrit Diderot : article « Art » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *L'Encyclopédie*, op. cit..

⁷⁷ Intitulé du problème 1 de Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes*, op. cit.

⁷⁸ Steven SHAPIN, « Une pompe de circonstance. La technologie littéraire de Boyle. », *Culture technique*, 1985, vol. 14..

& se retournant d'elle mesme, cependant qu'un ciclope joue dessus un flajolet » qu'il présente plusieurs machines.

Tous ces caractères signent une évolution des théâtres de machines qui est similaire à celles des traités siennois. Nous avons vu combien, chez Francesco di Giorgio Martini, la rédaction des *Trattati* était plus sobre, plus ordonnée que ses ouvrages précédents ou ceux du Taccola. Il semble qu'au début du XVII^e siècle dans le Nord de l'Europe, comme à la fin du XV^e siècle en Italie, au fur et à mesure que se met en place un nouveau statut socialement reconnu d'ingénieur, la légitimité du groupe et des individus provient non seulement de son *ingenium*, mais aussi de son savoir.

Un outil de glorification (1615-1629)

Des nobles amateurs : Veranzio et Strada

Une autre nouveauté vient de l'émergence de nouveaux auteurs, qui ne sont pas ingénieurs de métier. Les motivations ne sont plus liées à un objectif de carrière, mais se diversifient. Première d'entre elle, la gloire, légitimement affirmée. Edgar Zilsel a bien montré comment, à la Renaissance, la caste des « glorificateurs humanistes », d'abord portée sur la rhétorique et le patriotisme, intègre à son discours l'idéal utilitaire, venu de ces artistes, ingénieurs et architectes soucieux de s'élever socialement. Cela pousse certains lettrés à mettre en évidence leurs propres inventions, dans une logique mémorielle et glorificatrice propre à cette classe sociale, mais absente des préoccupations des ingénieurs.

Ainsi les *Machinae Novae* de Fausto Veranzio, publié à Venise, sans doute vers 1615⁷⁹. De son vrai nom Faust Vrančič (prononcer « Vranichich » : v ɛ a n ʃ i ʃ), l'auteur est né en 1551 à Sébenico, sur la côte dalmate, alors dans la dépendance de la république de Venise. Il est le neveu d'Antun Vrančič, cardinal et célèbre diplomate⁸⁰. Suivant la tradition familiale, Veranzio choisit une carrière ecclésiastique qui l'amena à travailler dans la Prague de Rodolphe II, celle de Tycho Brahé et de Kepler, avant de se

⁷⁹ Le livre n'est pas daté. Beaucoup d'auteurs pensent qu'une première édition aurait été réalisée en 1595. Nous pensons que la première édition date en réalité de 1615 ou 1617, suivant ici l'introduction à Umberto FORTI, *Machinae Novae (fac-simile)*, Milan, Ferro edizioni, 1968.

⁸⁰ Antun Vrančič a travaillé comme ambassadeur de Jean 1^{er} de Hongrie, puis pour les empereurs Ferdinand 1^{er} et Maximilien II pour traiter avec les turcs, il est créé cardinal peu avant de mourir en 1573.

retirer, vers le milieu de la décennie 1590 dans un monastère du Nord de l'Italie. Amateur d'architecture, de mécanique, d'histoire⁸¹ et de langues⁸², il a sans aucun doute eu accès à plusieurs théâtres de machines et peut-être à quelques dessins de Léonard de Vinci. Toujours est-il qu'il publie à Venise, à ses propres frais et en très peu d'exemplaires, un livre d'inventions, connu sous le nom de *Machinae Novae* et traduit en plusieurs langues par ses soins. À première vue, tout montre qu'il ressemble aux autres théâtres de machines : des gravures, présentées en série et accompagnées de brèves explications en langue vernaculaire sur le fonctionnement et parfois la construction de la machine.

Pourtant, le contenu du livre interroge. Toute rhétorique de légitimation des ingénieurs est absente. Aux habituels moulins sont mêlés un plan de dérivation du Tibre, plusieurs élévations de bâtiments, la représentation de techniques agricoles non machiniques, et le dessin de plusieurs ponts suspendus⁸³ et autres inventions originales comme un parachute ou une presse d'imprimerie fonctionnant avec un rouleau. Bref, comparé aux autres théâtres de machines, le livre de Veranzio déroute par l'originalité de ses choix et la sobriété de l'argumentation.

Le court texte introductif nous aide cependant à y voir plus clair. L'objectif annoncé diffère en effet de celui des anciens livres d'inventions et nouveaux théâtres de machines : il ne s'agit plus de faire valoir son *ingenium* auprès d'un prince, ni même de défendre l'intérêt de la mécanique en général, ni de faire œuvre de pédagogie envers princes et artisans, mais bien de faire mémoire du génie individuel. Le but de l'inventeur amateur, quand il rédige un « catalogue », est la postérité de son nom. Rien d'étonnant : c'est après tout une façon de penser habituelle de la noblesse que de conserver et apporter sa contribution à la réputation d'un nom et d'une famille. Il s'adresse donc à ceux qui ont l'art mécanique « en quelque estime » afin « qu'ils mettent en avant les meilleures, & plus promptes en main, & qu'on en ait mémoire à l'avenir »⁸⁴.

⁸¹ Il est connu pour avoir écrit une des premières histoires de la Dalmatie.

⁸² Il a publié un dictionnaire en cinq langues, devenue une référence chez les humanistes : Fausto VERANZIO, *Dictionarivm qvinque nobilissimarvm Evropæ lingvarvm, latinæ, italicæ, germanicæ, dalmatiæ*, Venise, Nicolas Morretum, 1595.

⁸³ Les seuls ponts représentés jusqu'alors dans le corpus sont des ponts militaires, mobiles.

⁸⁴ Fausto VERANZIO, *Machinae Novae: Cvm Declaratione Latina, Italica, Hispanica, Gallica Et Germanica*, 1617,

Une même logique glorificatrice soutient l'histoire de l'achat, de la diffusion et de la publication des *Dessins artificieux* de Jacques Strada de Rosberg⁸⁵. Jacques Strada était un marchand d'art et un antiquaire réputé, connu pour son activité de numismate et d'éditeur. Lors d'un séjour à Lyon, il achète à l'architecte Sébastien Serlio une série de dessins de machines⁸⁶, dont il projetait de faire un livre d'après son petit-fils Octave II (le jeune) Strada. En réalité, c'est son fils, Octave I (l'aîné), avec qui Jacques était en froid, qui prépare l'ouvrage avec des dessins manuscrits commandés. Pour Octave II le jeune, la publication imprimée de ces dessins permet non seulement d'asseoir sa réputation d'ingénieur hydraulicien, mais aussi et surtout d'asseoir la réputation de sa famille, selon la logique développée par Zilsel d'addition des arguments glorificateurs nouveaux aux anciens⁸⁷. La poursuite de cette politique mémorielle par le petit-fils conduit celui-ci à faire graver quelques uns de ces 300 dessins et à en donner une édition imprimée en 1617, suivie d'une seconde partie en 1618.

Chacun des deux tomes, qui ne totalisent que la moitié des 300 dessins, est publié en allemand et en français, avec de grosses différences d'un texte à l'autre. Dans l'édition française, préface et dédicace, qui reprennent des arguments propres à tous les théâtres de machines, précèdent la série des gravures, publiées sans aucune explication, car « les projets & dessins étant si clairs, que de premier abord ils y trouveront le commencement, progrès & effet de chacune machine ». Dans les éditions allemandes en revanche, nous ne trouvons aucune pièce liminaire, mais de « courtes descriptions ». Une seconde édition allemande paraît en 1629.

Cette différence s'explique par les différences de tradition des livres de machines. Le modèle largement diffusé en français est celui des livres d'inventions, peu théoriques et aux légendes courtes. En revanche, les éditions allemandes de Ramelli ou de Besson sont accompagnées de légendes plus détaillées. Ces choix témoignent de l'influence de la forme éditoriale des théâtres de machines sur toute publication

314 p.

⁸⁵ Nous renvoyons à la biographie dressée dans Luisa DOLZA, « Jacopo Strada: collezionismo e macchine tra Riforma e Controriforma », *Mélanges de l'école française de Rome. Italie et Méditerranée*, 2002, vol. 114, n° 2, pp. 493-512.

⁸⁶ Sylvie Deswarte-Rosa (éd.), *Sebastiano Serlio à Lyon, Architecture et imprimerie, Le Traité d'Architecture de Sebastiano Serlio, une grande entreprise éditoriale au XVI^e siècle, actes du colloque de Lyon de décembre 1998*, Lyon, Mémoire active, 2004. Nous verrons dans la troisième partie le sens de ces dessins pour Serlio.

⁸⁷ Sur ce point, voir notamment Vittorio MARCHIS et Louisa DOLZA, *L'album fiorentino dei « Disegni artificiali » raccolti da Jacopo et Ottavio Strada*, Rome, ENEL, 2002.

ultérieure de gravures d'inventions mécaniques : publiés dans une logique mémorielle et glorificatrice bien différente de celle des ingénieurs, les *Dessins artificieux* ont trouvé dans les théâtres de machines une forme littéraire idéale pour être diffusé.

Justifier sa position : Branca

La publication en 1629 des *Machine* par Giovanni Branca, architecte et ingénieur de la Sainte maison de Lorette⁸⁸ obéit à une logique légèrement différente, bien que, là encore, l'auteur du livre ne soit pas l'inventeur des machines. Ce dernier explique en effet qu'il a ces figures « entre les mains » (« mi vengono alle mani ») et qu'il les a légendées à la demande d'un ami (« dichiararle à preghiere di amico »). Les planches gravées sur bois (et non sur cuivre) témoignent de leur ancienneté. D'ailleurs toutes ne sont vraisemblablement pas finies d'être gravées. Les parties noircies de certaines figures témoignent de zones inachevées.

L'objectif de cette publication est de conserver l'appui de son patron, l'évêque d'lesi Tibère Censi. Pour cela, étant donné le goût de ce dernier pour les machines, il rédige cet ouvrage avec les gravures tombées en sa possession sur le modèle des théâtres de machines. Ses courtes explications suivent le modèle développé dans le Ramelli, avec la description de la fonction suivie du chemin cinématique, parfois abrégé. Il vise ainsi à asseoir son autorité par son savoir mécanique. Il veut prouver qu'il est la bonne personne pour occuper son poste à la Sainte maison de Lorette.

À partir de ce début de XVII^e siècle, les livres présentant des machines originales, inventées par les auteurs, se font très rares. Pour autant, le succès du genre conduisent quelques savants et plusieurs éditeurs à mettre en perpétuer la tradition pendant encore un siècle.

⁸⁸ Giovanni BRANCA, *Manuale d'architettura: breue, e risoluta prattica*, Ascole, Maffio Saluioni, 1629 ; Giovanni BRANCA, *Le machine volume nuouo et di molto artificio*, Rome, J. Martucci, 1629.

Chapitre 2 : Les avatars d'un genre à succès (XVII^e-XVIII^e siècle)

Devenu à la fois plus didactiques et plus accessibles au public, les théâtres de machines bénéficient d'un succès certain¹, qui favorise des stratégies éditoriales pugnaces. Là encore, l'histoire du livre de Besson est révélatrice d'une tendance. En 1594, l'éditeur genevois Jacques Chouët reprend l'affaire à Claude Juge et Jean de Laon, et se lance dans une politique éditoriale qui a deux objectifs : remercier les défenseurs de la Réforme calviniste par des dédicaces politiquement très marquées², et diversifier le public par une diffusion internationale. Il propose ainsi une traduction en allemand en 1595, à Montbéliard, puis une autre en espagnol en 1602, qu'il distribue depuis Lyon avec l'appui d'Horacio Cardon, imprimeur attiré des jésuites de Lyon, et régulièrement en lien avec l'Espagne³. Excepté les dédicaces, le contenu du livre ne change plus. L'éditeur se contente de tirer l'ouvrage, accentuant l'usure des planches, visibles sur quelques exemplaires par un contraste moins net. D'autres théâtres de machines sont réédités, comme le *Gouvernail* d'Ambroise Bachot, version augmentée du *Timon*, tant pour ce qui concerne l'architecture que pour les inventions, notamment les machines de guerre⁴ ; comme le Ramelli, dont Liévin Hulst n'hésite pas à faire regraver les 195 planches dans son édition de 1601 ; comme encore les *Artifices de feu*, réédition des *Modelles* de Joseph Boillot, publiés à Strasbourg en 1603.

Ce succès éditorial amène certains auteurs à publier leurs propres livres de machines sur des modèles similaires. Nous étudions ci-dessous trois cas d'« avatars »

¹ Nous traitons de la réception dans la suite de cette partie : « Chapitre 3 : Posséder des livres de machines », p. 95.

² Les éditions françaises de 1594 et 1596 sont adressée à François de Bonne de Lesdiguières, militaire protestant français passé catholique qui, en défaisant les armées savoyardes pour le compte du roi de France, protégeait du même coup la ville de Genève. L'édition allemande, publiée à Montbéliard, ville du célèbre ingénieur Heinrich Schickhardt, est dédié à Frédéric I^{er} de Wurtemberg, connu pour être protecteur des protestants de France. Enfin, la dédicace, en 1602, au duc de Lermé, favori de Philippe III vise la pénétration du livre sur le marché espagnol.

³ L'Espagne, encore à la fin du XVI^e siècle est assez peu dotée en imprimeries et importent de nombreux livres depuis l'Italie et la France, et singulièrement depuis Lyon. Voir Gérard MORISSE, « Le commerce du livre lyonnais en Castille au XVI^e siècle », *Revue française d'histoire du livre*, 2010, n° 131. Le réseau jésuite favorise bien entendu ces échanges.

⁴ La plupart des machines de guerre sont explicitement attribuée à « F. Mordente ». Pour plus de précision sur l'ouvrage, voir la notice d'Hélène Vérin au *Timon* sur « Architectura », *op. cit.*.

de cette tradition : d'abord celui de la publication, en Chine, d'un livre largement inspiré des théâtres de machines ; puis les différents titres publiés dans le Saint-Empire et qui forment une « piste allemande » de théâtres de machines, originale, avec ses propres codes ; enfin, nous verrons comment les livres allemands relancent pour un temps le genre au XVIII^e siècle, qui s'éteint à la fin du siècle.

Un manuel de mécanique chinois inspiré des théâtres de machines (1627)⁵

La rencontre du jésuite et du fonctionnaire chinois

Johann Schreck, dit Terrenz ou Terrentius, aurait pu devenir un savant de renommée européenne. Cependant il est méconnu, car très tôt, il a préféré entrer dans la compagnie de Jésus. Après avoir accompagné Nicolas Trigault dans un tour d'Europe, visant à thésauriser soutiens, connaissances et livres, il part en Chine comme missionnaire. Wang Zheng, quant à lui, est un haut-fonctionnaire chinois, très intéressé par les mathématiques et les machines⁶. C'est entre 1624 et 1627, durant la période des trois ans de deuil qui suivent la mort de sa mère, et pendant laquelle il doit quitter ses fonctions, que Zheng se rapproche de la mission jésuite, d'abord chez lui, où il rencontre Nicolas Trigault et l'aide à réaliser un premier dictionnaire chinois utilisant la phonétique latine, puis à Pékin, où il se convertit sans doute au catholicisme. Attiré par certains des épisodes relatés dans le *Zhi Fang Wai Ji* (*Liste des lieux hors de la juridiction du bureau de géographie*) du missionnaire Giulio Alenio⁷ (dont celui d'Archimède tirant un bateau de terre en mer⁸), il demande aux missionnaires chargés de la réforme du calendrier

⁵ Sur cet ouvrage, lire Samuel Y. Jr. EDGERTON, « The Renaissance Artist as Quantifier », in *The Perception of pictures*, New-York, Academic Press, 1980, . et Hélène VERIN et Georges METAILE, « Ces étranges machines extrêmes occidentales (intervention) », in *Les machines à la Renaissance : XLVIII Colloque International d'Etudes Humanistes*, Actes non publié, 2005. Nous remercions les auteurs pour nous avoir permis d'avoir accès à leur manuscrit.

⁶ Pour une biographie plus détaillée des personnages, voir Annexe 2 : « Biographies des personnages », p. III.

⁷ Outre le livre d'Alenio, plusieurs autres livres avaient été traduits ou rédigés en chinois par les jésuites. Wang Zheng en donne une liste, dans laquelle nous trouvons beaucoup d'ouvrages de mathématiques (Clavius notamment), et un ouvrage sur une horloge à sonnerie automatique. Pour le détail, voir Hélène VERIN et Georges METAILE, « Ces étranges machines... », *op. cit.*. L'article mentionne aussi une liste d'ouvrages chinois faisant déjà état de descriptions de machines.

⁸ « Préface » à Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, *Yuan xi qi qi tu shuo lu zui* (QQTS), Pékin, 1627. Le livre est traduit en anglais et disponible sur MAX PLANCK INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTSGESCHICHTE (MPWIG), *Commentaries - China Project*, <http://content.mpiwg-berlin.mpg.de/chinaproject/show.html?sortflag=pagenum>, consulté le 13 mai 2013. Les citations sont des traductions personnelles depuis la version anglaise. Le site ne donne pas la pagination.

comment découvrir ces machines. Ceux-ci lui proposent alors de consulter des livres, qui ne contenaient « pas moins d'un millier de machines de plus d'une centaine de sortes [représentées si finement qu'il pouvait] les regarder et les imaginer ». Cela nous montre le pouvoir d'attraction de ces livres de machines et confirme l'intérêt de la perspective pour aider à la représentation mentale des machines.

Très vite cependant, le préfet chinois est déçu de ne pas pouvoir lire les explications, écrites dans « la langue occidentale »⁹. Il demande alors à Johann Terrenz de lui traduire les explications. La réponse du jésuite, qui sait pourtant écrire le chinois, est assez inattendue et nous intéresse à plus d'un titre, car elle est à l'origine de sa collaboration avec Wang Zheng :

« Traduire n'est pas difficile, cependant, bien que cette connaissance appartienne, à première vue, à une technique ordinaire de l'art de la force, il faut apprendre les mathématiques, et après il est possible de faire la traduction. La raison en est qu'il faut des dimensions et des chiffres pour tous les mécanismes. Grâce aux dimensions, des mesures apparaissent, et grâce aux chiffres, le calcul s'améliore. Grâce aux mesures et au calcul, il y a la proportion. Grâce à la proportion, on peut savoir la raison de toutes choses. Ayant la raison, on peut établir la méthode [pour se] familiariser avec les images et les explications de ces machines. »¹⁰

Le programme de l'enseignement que Terrenz se propose de donner à Zheng est entièrement compris dans cette réponse, qu'il précise en donnant les titres de quelques livres de géométrie (dont Euclide) et d'arithmétique. La mixité de cette étude, à la fois pratique et théorique, peut surprendre pour un européen du XVII^e siècle, chez qui les rôles étaient très distincts. D'autant que, comme le rappellent Hélène Vérin et Georges Métaillé¹¹, les savants, et plus particulièrement les jésuites, se trouvaient parmi les détracteurs des théâtres de machines, non seulement à cause des défauts reconnus aux théâtres de machines dès leur début (complexification inutile, impossibilité de la fabriquer à partir des livres, ne rend pas compte scientifiquement des effets), mais aussi à cause du statut social des auteurs (ingénieurs praticiens écrivant en langue

⁹ Wang Zheng avait des rudiments de latin, mais les théâtres de machines sont écrits en langue vernaculaire, français, allemand et italien notamment.

¹⁰ « Préface » à Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, *QQTS*, *op. cit.* Texte original : "Translating is not difficult, however, although this knowledge belongs to a trivial technique in the art of force, at first surveying and mathematics must be learned, and then (the translation) could be done. The reason is that, (as to) the details of all the devices, there must be dimensions and numbers at first. Because of dimensions, measurement appeared, and because of numbers, calculation grew. Because of measurement and calculation, there was proportion. Because of proportion, thus (one) could know all the reason of things. Having got the reason, one could establish the method [in order to] be acquainted with the diagrams and explanations of these machines"

¹¹ Hélène VERIN et Georges METAILLE, « Ces étranges machines... », *op. cit.*

vernaculaire d'un côté, savants rédigeant en latin de l'autre). Faire précéder la traduction de la description des machines par un enseignement plus théorique est un moyen, pour Terrenz, de limiter les problèmes que posaient ces livres et pour Wang Zheng, d'être sûr d'avoir des connaissances certaines et fondées.

Cela n'explique pas pourquoi les jésuites ont fait l'effort d'importer les théâtres de machines, plutôt épais, et encourager Wang Zheng à les lire. Les théâtres de machines prêtés par les jésuites apparaissent après coup comme une sorte d'appât, un moyen d'attiser la curiosité du lecteur, avant de proposer différents cours, partant des fondamentaux de la géométrie et de l'algèbre pour parvenir à des principes théoriques. Dans le cas qui nous intéresse, cet enseignement a donné lieu à une publication particulière, d'esprit encyclopédique et qui contient dans le même volume les aspects théoriques de la mécanique et la présentation des machines. Il s'agit du *Yuanzi Qiqi Tushuo Luzui* (QQTs), qu'on pourrait traduire par *Meilleure sélection de dessins et explications des merveilleuses machines de l'extrême-occident*. Cette source précieuse nous permet de mieux comprendre le type d'enseignement prodigué par Terrenz à Wang Zheng et de préciser la place qu'y tenaient des théâtres de machines.

Pour Terrenz, ce livre se conçoit comme l'aboutissement d'un enseignement de la science mécanique européenne aux chinois convertis. Pour Wang Zheng, l'objectif est certes la connaissance, mais aussi, comme pour les ingénieurs précédents, l'utilité. La différence principale est que nous voyons dans ce cas un administrateur demander un éclaircissement, et non un ingénieur proposer cet apprentissage à un souverain.

Or cette étude portant sur des considérations « matérielles » pose problème aussi bien en Chine qu'en Europe. Un des amis de Wang Zheng le met en garde sur ce que cette entreprise nuit à sa réputation, ne comprenant pas que le préfet mette autant d'énergie à rédiger un ouvrage pour des ouvriers : « Un homme d'honneur ne pense pas beaucoup de bien des outils. Pourquoi vous fatiguer à faire cela [ce livre] ? ». D'autant plus quand cela suppose une fréquentation abusive des occidentaux, que le chinois traite en maîtres, ce qui est insupportable à la culture chinoise¹². Ce à quoi

¹² « Préface » à Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, QQTs, *op. cit.* Texte original : "Now what you've recorded here is only such class as craftsmen's skills. A man of honour doesn't think highly of ustensils. Why exhaust yourself by doing this ? [...] those persons (scholars of the west) are in a far desolate area ten of thousands of li away, and they are juste only scholars in the west remote place. Why are you particularly addicted to them like this ?"

Zheng répond qu'il espère que son travail sera bénéfique à la société et prépare le futur, et que pour atteindre ces objectifs peu importe la source du savoir¹³. Plus encore, il estime que les Chinois devraient s'intéresser de façon plus approfondie aux techniques dont ils usent quotidiennement, afin d'améliorer la prospérité du pays, citant à cet effet Confucius : « Préparez les choses pour une utilisation future et fabriquez des outils pour le bénéfice de tous. ». Se dessine ici une vision administrée de la technique, que ne renieraient pas certains européens. Il s'engage ensuite dans un vigoureux éloge des missionnaires catholiques, et de l'effort qu'ils font de mettre leur savoir à disposition des chinois, avant d'expliquer que si son choix s'est porté sur les machines, c'est avant tout parce que c'était le domaine qu'il comprenait le mieux, et qu'il est plus à même de certitudes.

Visiblement, le résultat reçut un meilleur accueil que ne le laissaient supposer les appréhensions de ses amis, puisque le livre est réédité en 1628, et préfacé par un certain Wu Weizhong, qui raconte sa rencontre avec Wang Zheng et son apprentissage à ses côtés. Cette seconde préface loue l'utilité du livre et des machines, meilleures et plus justes que celles issues d'auteurs chinois anciens¹⁴.

Une pensée technologique ?

Le livre proprement dit est organisé en trois parties, une introduction, une partie théorique et une recension de 53 machines. L'introduction consiste en un discours qui donne les bases philosophiques et l'organisation des connaissances, telles que Terrenz les conçoit, mais rédigées par Wang Zheng¹⁵. La nécessité pour l'européen de se faire comprendre d'un homme n'ayant pas la même culture l'oblige non seulement à traduire, à adapter son langage à la pensée chinoise, mais aussi à mettre au jour ses présupposés, nous livrant ici la façon dont un grand savant européen pouvait concevoir

¹³ *Ibid.* Texte original : "I replied to it: "As to learning, (I) don't mind whether it is profound or shallow, but always expect it to benefit society; as for a person, I don't care whether he is a Chinese or a westerner but always hope that he is not against Heaven. What is recorded here belongs to trivial techniques, but they actually benefit people's daily use and the urgent need of nation's prosperity. If we look down on them by holding the excuse of not thinking highly of utensils, then why did Ni Fu (Confucius) always remember Zhou Yi, which said: 'Prepare things for future use and make utensils to benefit all people.'"

¹⁴ H. Verin et G. Métaillé rappellent ici les études de Catherine Jami sur le mouvement des études concrètes qui se fait jour en Chine, en réaction « aux courants intuitionnistes ». Wang Zheng participe de ce mouvement, qui s'appuie sur les mathématiques occidentales, dans la recherche de bases certaines prouvant l'efficacité des techniques.

¹⁵ « Titre de l'introduction » dans Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, *QQTs*, *op. cit.* Texte original : "chapter one of Yuanxi Qiqi Tushuo Luzui, interpreted by Johann (Schreck) Terrenz, a Jesuit missionary from the West. Expressed in Chinese and drawn by Wang Zheng, a catholic scholar from Guangxi."

un enseignement de mécanique. Elle est divisée en deux parties, l'une expliquant les qualités, les caractéristiques internes de la mécanique, l'autre ses vertus, ses bénéfices externes.

La première partie commence ainsi par des définitions *a priori*, selon une méthode sans doute empruntée à Euclide. Ainsi, l'art de la force (« *Li Yi* » : la mécanique) est défini comme « la science des poids » (« *zhong xue* »). « Force » étant ici synonyme d'énergie, divisée en énergie humaine, animale (chevaux), hydraulique, ou éolienne ; et l'« art » désignant les méthodes et les machines permettant d'utiliser ou de fournir de l'énergie. Enfin, la science des poids consiste à réduire les mouvements à l'élévation d'un poids. Nous voyons déjà poindre dans ces quelques définitions la place que prend la *statique* dans un enseignement de mécanique du début du XVII^e siècle.

La suite du texte nous donne d'ailleurs un premier aperçu de la pédagogie de l'ouvrage¹⁶. Une première distinction est faite entre l'intérieur, l'esprit comme lieu de la compréhension, et l'extérieur, les livres et les figures (« *diagrams* »), lieu de la mémoire, où est enregistré le savoir des anciens. Trois approches complémentaires sont ensuite citées pour parvenir à comprendre et retenir les choses dont il est question. Les deux premières, la transmission par un maître et l'étude des modèles (« *patterns* »), relèvent d'un enseignement classique, dérivé de la scholastique aristotélicienne pratiquée en Europe, à ceci près que l'objectif est directement matériel et productif. Il s'agit, selon les mots de l'auteur, d'apprendre à savoir comment faire (selon l'enseignement du maître), en s'appuyant sur des exemples, des « fondements » (les modèles). Or, ce « faire » nécessite une habilité que seule la troisième approche, sur laquelle l'auteur insiste d'ailleurs particulièrement, permet. Il s'agit d'« observer plus, penser plus et faire plus »¹⁷. Dit autrement, il s'agit de compléter la théorie par une pratique de l'invention, seule garante du développement d'une « habilité » (« *skillfulness* ») et d'une familiarité avec les machines.

¹⁶ Il est difficile ici de faire la part entre l'apport de Terrenz et celui de Wang Zheng.

¹⁷ « Introduction » dans Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, *QQTs*, *op. cit.* Texte original : “the natural place of this learning locates inwardly. The methods by which the ancients had already made implements were recorded in diagrams and in books, which are lodging places of this learning. Therefore they are named exteriority. Its attainments rest with three approaches: firstly, through the master's impartation; secondly, through patterns; thirdly, through watching more, thinking more and doing more.”

Ces trois approches ont plusieurs « fonctions », plusieurs objectifs, que hiérarchisent les auteurs : « Cela a quatre fonctions. La première est la raison des choses, la seconde est la pesée et la mesure, la troisième est le mouvement, la quatrième est la maîtrise d'une chose. »¹⁸. Qu'entendent les auteurs par « raison des choses ? Comparée aux racines d'un arbre, à partir desquelles tout peut se comprendre et se déduire, cette raison ne semble être ni plus ni moins que ce que les mécaniciens européens appellent les « principes », les lois qui régissent la mécanique. Quant au terme de « mouvement », il désigne en fait la fonction de la machine, le mouvement utile. En ce sens, il répond à un besoin, et fait donc partie du choix¹⁹. La réponse à ce besoin justifie la production de biens, production qui justifie l'apprentissage de l'art de la force ou science des poids (statique). Enfin, Zheng explique que maîtriser une chose suppose de tenir ensemble les trois objectifs précédents, et de ne pas les étudier séparément. Ainsi, la pesée et la mesure, c'est-à-dire l'examen matériel, permet, avec la compréhension des principes et la connaissance des fonctions mécaniques, de choisir la méthode à adopter, la machine à utiliser.

Principes, mesures, cinématique, appris par l'enseignement oral, l'étude de l'écrit et la pratique, nous voyons ici se dessiner les premiers linéaments d'une pédagogie similaire à celle que nous trouvons chez Leupold un siècle plus tard²⁰. La division de la suite du livre en deux parties, l'une plutôt théorique, et l'autre consistant dans la description de plusieurs machines rappelle d'ailleurs l'organisation générale des *Theatri Machinarum* de Leupold, ou avant lui, de ceux d'Heinrich Zeising.

L'introduction se poursuit en mettant en évidence cinq facteurs qui ont permis de transmettre et de faire progresser le savoir mécanique : la transmission depuis un « primogéniteur », les contrariétés naturelles qui poussent les hommes à s'équiper, l'observation des choses et leur contact qui suscite des idées par analogie, la compréhension occasionnelle, nous pourrions dire fulgurante, dont l'exemple cité est celui d'Archimède dans son bain²¹, et enfin une réflexion approfondie sur un point.

¹⁸ *Ibid.* Texte original : "It has four functions. The first is the reason of things, the second is weighing and measuring, the third is movement, the fourth is the mastery of a thing."

¹⁹ H. Vérin et G. Métaillé montrent bien comment le QOTS explicite les utilités en triant les machines selon l'énergie et les machines simples utilisées, les capacités des machines et leurs avantages. Force est de constater que tout ne se ramène pas encore à l'idée d'améliorer le rendement, d'« obtenir plus d'effet avec moins de force ».

²⁰ Voir *infra* « Chapitre 10 : Une pédagogie technologique, éléments généraux », p. 352.

²¹ Selon la légende, Archimède a trouvé en prenant son bain le moyen de distinguer l'argent de l'or en utilisant la

Connaissance de l'ancien, réponse aux contrariétés, analogie et idée émergente : c'est une définition de l'*ingenium* que propose ici le savant ; un *ingenium* complété et normé en dernier ressort par la nécessité d'une réflexion approfondie.

Arrêtons-nous ici sur le premier de ces facteurs, intéressant en ce qu'il reprend l'idée d'une chronologie de la transmission du savoir depuis Adam, en passant par Archimède (« Yaximode »). À la fin de la transmission, Terrenz et Zheng font référence à des personnes qui « de nos jours [...] peuvent mieux comprendre les raisons des différentes machines », Vitruve (« Wei Duo ») et Simon Stevin (« Xi Men ») ; puis à d'autres qui « dessinent et impriment les figures », Agricola (« Geng tian ») et Ramelli « Lamoli »²².

La fin du texte revient sur plusieurs distinctions : matériaux bruts/ composition des machines, quantité/poids/extension. De là sont justifiés d'une part l'utilité des modèles et des connaissances théoriques : « lois de la nature », auxquelles appartient l'art de la force ; et d'autre part la complémentarité nécessaire entre cet art et la science des poids (la statique), qui seul permet les effets extraordinaires sur lesquels s'étend l'auteur, et qui sont l'objet de la seconde partie de l'introduction.

Vertus de la mécanique et utilité des machines

La première partie de l'introduction, qui éclaire beaucoup la façon dont un savant pouvait concevoir l'utilité et le développement intrinsèque de la mécanique dès le début du XVII^e siècle, est suivie dans une seconde partie par un éloge des bienfaits extérieurs de cette discipline. Deux arguments principaux sont avancés : l'un porte sur l'apprentissage de l'art de la force et des sciences qui s'y rapportent ; l'autre porte sur l'utilité des machines elles-mêmes.

L'utilité de l'enseignement (« *learning* ») de l'art de la force par le QQTS est particulièrement soulignée dans cette partie de la préface. Mais derrière cette défense, c'est en réalité à la fois un réquisitoire contre le régime pratique de la pensée

densité des matériaux. Ainsi, pour un même poids, l'argent est moins dense que l'or et occupe un plus grand volume, et en plongeant des objets préalablement pesés dans un bassin, l'élévation du niveau d'eau renseigne sur la densité du matériau et permet de vérifier si celui-ci est bien en or.

²² H. VERHAEREN, « Wang Tcheng et la mécanique », *Le bulletin catholique de Pékin*, 1947, vol. 34, pp. 185-186.: « Je ne crois pas me tromper, affirme-t-il, en supposant que Weitouo est une translittération raccourcie de Vitruve, que Simon désigne Stévin (...) que King tien est la traduction chinoise du nom d'Agricola et que Lameli figure le nom italien de Ramelli ». Cité dans Hélène VERIN et Georges METAILE, « Ces étranges machines... », *op. cit.*.

opérateur²³ et une plaidoirie pour un enseignement théorique de la mécanique. L'excellence de la théorie, fondée sur les mathématiques, est en effet posée comme base de toute l'argumentation :

« Seul l'arithmétique et les mesures sont dépourvues d'erreur. Et cet enseignement de l'art de la force est fondé sur l'arpentage et les mathématiques [...]. C'est pourquoi cet enseignement peut être regardé comme la plus exacte et la plus propre des connaissances, et sans aucune erreur. Ce n'est pas comme les autres enseignements, où il est possible que l'un pense que cela est juste quand l'autre pense que c'est faux »²⁴

De là, puisque tout plan ne saurait être faux, toute erreur, tout dysfonctionnement de la machine est déplacé vers les constructeurs, vers la réalisation matérielle, ou alors vers un mauvais usage de la machine :

« S'il y a une erreur parfois, l'erreur n'est pas dans l'enseignement, mais c'est que la qualité de la machine est mauvaise ; si la qualité n'est pas mauvaise, [le bon fonctionnement] dépend du fait que la personne qui opère le fait en accord avec la méthode ou non. »²⁵

De cette excellence de la théorie, le texte bascule vers la facilité de compréhension des principes des machines et des méthodes d'utilisation. Une simplicité qui doit permettre à quiconque le souhaite d'user de cette connaissance. D'ailleurs, cet enseignement va jusqu'à proposer des modèles à imiter : « Il y a des modèles tout fait pour ces machines, qui peuvent être imités »²⁶. « Imités », le mot est important, car il ne s'agit pas de produire à partir du dessin : si les machines présentées pourront être fabriquées, ni le texte ni les images ne présentent de mesures précises. L'idée d'un

²³ Voir Anne-Françoise GARÇON, *L'imaginaire et la pensée technique : une approche historique, XVIe-XXe siècle*, Paris, Classiques Garnier, 2012.. L'auteur mentionne trois « régimes de la pensée opératoire ». En bref, il s'agit de qualifier les modèles généraux qui sous-tendent toute pensée technique. A-F. Garçon en distingue trois grands types. Il y a d'abord le régime « pratique », qui est une pensée très métaphorisée, qui se transmet par le geste et une parole faite principalement de récits. Dans le contexte européen, cette pensée s'est concrétisée dans l'organisation des métiers. Il y a ensuite le régime « technique », qui se caractérise par une technicisation du vocabulaire et de la description des opérations techniques, la volonté de défaire les mythes par une description « objective », et le recours à l'écrit. Le modèle de ce régime est celui des journaux de voyages des élèves-ingénieurs, mais il s'applique aussi à de nombreux manuels qui décrivent les opérations techniques. Certaines réductions en art peuvent aussi s'inscrire dans ce mouvement, quand d'autres tendent, en accompagnant la description d'une parole raisonnée à entre dans le régime technologique, troisième régime de la pensée opératoire, dont il est question plus loin (voir *infra* « Qu'est-ce que la technologie ? », p. 322).

²⁴ « Introduction » dans Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, *QQTS, op. cit.* Texte original : "Only arithmetic and measurement are of free of errors. And this learning of the art of force is based on surveying and mathematics [...]. So, only this learning can be regarded as the most exact and proper (knowledge) and without any mistake. It is not like other learning, where it is possible that someone thinks that (this result) is right, while the other thinks that it is wrong"

²⁵ *Ibid.* Texte original : "(If) there is a mistake sometimes, the mistake is not in the learning, but the quality of the machine is poor; if (the quality is) not poor, it depends on whether the person operates according to the method or not."

²⁶ *Ibid.* Texte original : "There are ready-made patterns for its machines, which can be imitated."

dessin technique est absente, et cette mention explicite d'éventuelles concrétisations doit se comprendre dans le contexte de la culture asiatique, pour laquelle l'imitation est au centre de tout apprentissage. Comme dans la calligraphie, cœur de l'apprentissage des idéogrammes, reproduction s'entend ici comme imitation et perfectionnement des formes et des gestes. Il s'agit de reprendre les dessins de machines proposés, de les comprendre facilement et non seulement de les reproduire, mais de leur apporter un ensemble de petites améliorations, de perfectionnements. En bref, en prenant la défense de ces dessins, l'auteur cherche à les intégrer dans une culture technique foncièrement rétive aux innovations de rupture, mais particulièrement douée dans la mise en place de processus d'innovations incrémentielles. C'est un mode de pensée et d'apprentissage encore largement ancré dans la pensée technique asiatique²⁷.

Quoiqu'il en soit de la reproduction, l'excellence et la simplicité de la théorie plaide donc pour sa généralisation et son apprentissage aux ouvriers. Cela conduit l'auteur à remettre en cause l'apprentissage selon un système maître/élèves :

« Il y a deux grades d'artisans, l'un est supérieur, l'autre est inférieur. L'inférieur reçoit les ordres du supérieur, et fait tout le travail personnellement, comme un serviteur. Le supérieur fait le plan général, mais n'utilise pas de la hache et du ciseau personnellement. Après l'établissement de cet enseignement, le supérieur de tous les arts devient lui-même un inférieur, et seul l'enseignement est au sommet. Prenez les cents meilleurs artisans, sans cet artisanat patriarcal, ils ne sont pas capables de prendre quelque chose comme modèle, et n'ont nulle part d'où prendre des ordres. »²⁸

L'absence de fondement premier, d'origine, aux savoirs des artisans, et le besoin d'avoir toujours un maître pour dicter les ordres et montrer les choses à faire discrédite ici le régime pratique de la pensée opératoire. À l'inverse, l'apprentissage à l'aide du livre possède cinq qualités indéniables, à savoir son universalité, sa justesse, sa clarté, sa capacité à susciter l'invention de nouvelles machines, et sa facilité d'utilisation par tous :

²⁷ En ce qui concerne l'impact de l'apprentissage par imitation sur la pensée technique asiatique, lire Philippe DOUBLET et Blanche SEGRESTIN, « Culture et conception », in Armand HATCHUEL et Benoît WEIL (dirs.), *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Cerisy-la-Salle, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy, 2008, . Cette communication étudie la rencontre des cultures techniques existantes entre les ingénieurs coréens de Nissan et ceux, français, de Renault.

²⁸ « Introduction » dans Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, *QQTs*, *op. cit.* Texte original : "There are two grades of craftsman, one is superior, one is inferior. The inferior receives orders from the superior, does all the work personally, like a servant. The superior makes the general plan, but does not use the axe and the chisel personally. After the establishment of this learning, the superior of all handicrafts become also inferior, and only this learning is at the top. Take the top one hundred craftsmen, without this patriarchal handicraft, they are not able to take something as a model, and have nowhere to take orders from."

« Premièrement, il peut apprendre à chaque artisan diverses machines ; deuxièmement, il peut démontrer l'usage des machines ; troisièmement, il peut rendre clair les raisons des machines ; quatrièmement, il peut inventer de nouvelles machines dans le champ où il n'y a toujours aucune machine ; cinquièmement, il peut user de la méthode établie pour aider à ce que le travail finisse [plus vite]. »²⁹

À cet avantage de l'enseignement théorique, il nous faudrait ajouter le second argument principal qui court aussi dans toute cette seconde partie de l'introduction, à savoir l'utilité des machines pour la vie quotidienne. Ici les références sont éparses et nombreuses, et à chaque fois, Zheng oppose un besoin à la machine qui permet de lui répondre, jusqu'au « canon à eau » pour se protéger du feu, « thème » récurrent des théâtres de machines, né chez Jacques Besson et appelé à prendre de l'importance au fil des livres d'inventions (Wang Zheng et Terrenz choisissent de représenter la version de Zeising).

Ces besoins, Zheng, en nouveau catholique, explique qu'ils viennent directement de l'expulsion d'Adam et Eve du Paradis, dessinant ainsi une anthropologie du besoin qui justifie le recours aux machines, avant d'esquisser une histoire progressiste. Aucune mention n'est ici faite du Moyen Âge comme obscure période où furent perdus les savoirs des anciens. Au contraire, les auteurs, citant Babylon, « où toutes les sortes de machines existaient » se posent dans une histoire continue, posant même directement la question d'une possibilité d'un progrès indéfini³⁰.

Quoiqu'il en soit, ils promettent à chaque inventeur une grande gloire, et aussi, une grande joie de la découverte. L'exemple étant de nouveau celui d'Archimède, si heureux d'avoir découvert le moyen de distinguer l'or de l'argent qu'il en oublia de se vêtir pour présenter la chose au roi de Syracuse. L'idée est ici de susciter l'invention, une idée qui vient, comme nous le verrons, des premiers théâtres de machines³¹. Elle est ici articulée à une théorie omniprésente, dont les auteurs ne cessent de vanter les

²⁹ *Ibid.* Texte original : "It has five respected qualities: first, it can teach every craftsman various machines, secondly, it can demonstrate the usage of the machines, thirdly, it can make clear the reason for the machines, fourthly, it can invent new machines in the field where there was always no machine. Fifthly, it can use the established method to assist in what the work falls short of."

³⁰ *Ibid.* Texte original : "At that time [in Babylon], every kind of machine existed, and no machine had not been used. The machines have been handed down to today, being improved again. Does it always remain the same through the ages?". Rappelons que ce progrès s'entend dans une pensée d'innovations incrémentielles. Sur les origines de la mécanique, voir le lien avec les mythologies développées dans les théâtres de machines européens : *infra* « Les origines chrétiennes de la mécanique », p. 174.

³¹ Voir *infra* « Chapitre 7 : Ordonner l'invention : la topique inventive », p. 232.

bienfaits. La fin de ce premier chapitre annonce d'ailleurs un plan qui rend bien compte de cette dichotomie. Les chapitres suivants donnent des explications respectivement sur les poids, puis sur les machines simples et sur la force, et enfin sur le mouvement et c'est là, très clairement énoncé, dans l'explication du mouvement, autrement dit dans la *cinématique*, que trouvent place les copies de dessins issus de plusieurs théâtres de machines.

De la science à la pratique : les merveilleuses machines d'extrême-occident

Le reste du livre est issu d'une même collaboration entre un Wang Zheng en position d'élève et un Johann Terrenz en position d'enseignant³². Les trois premiers chapitres se présentent sous la forme d'une série de définitions, de théorèmes et de corollaires, suivis de problèmes mathématiques avec leurs solutions, le tout accompagné de figures explicatives, dans une grammaire visuelle similaire à celle des traités de mathématiques européens. Cela donne à ce bon tiers du livre un aspect théorique assez proche, quoique moins complet, du *Theatrum machinarum generale* de Leupold. Terrenz, dont on sait qu'il a fait lire à son élève les livres d'Euclide, ne s'attarde en effet pas beaucoup sur les principes de base de la géométrie ou de la physique, mais il développe en détails les différents principes de la statique, qu'il emprunte à Archimède, à Guidobaldo del Monte et surtout à Simon Stevin³³, d'abord de façon générale, puis en l'appliquant aux différentes machines simples. Témoignant de la conception d'un programme d'enseignement par un savant du début du XVII^e siècle, cette première partie du livre nous montre combien les premiers technologues mécaniciens du XVIII^e siècle s'appuyaient sur une pensée déjà largement présente dans le cercle restreint des savants du premier XVII^e siècle qui s'intéressaient aux mécaniques.

Le dernier chapitre du livre, qui en occupe en réalité une bonne moitié, tient en la description de 53 machines différentes, dont presque toutes sont tirées des théâtres de machines apportés par les jésuites : Ramelli (20), Veranzio (13), Besson (7), Zeising

³² « Préface » dans Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, QQTS, *op. cit.* Texte original: "Mr Terrenz indicated and explained them [books on European mathematics] to me."

³³ Du moins d'après ce qu'en dit MAX PLANCK INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTSGESCHICHTE (MPWIG), « Commentaries - China Project », *op. cit.*

(7), et Zonca (3), auxquelles s'ajoutent trois machines issues d'autres sources, peut-être de tradition chinoise, selon les commentaires des traducteurs³⁴.

Ces machines ont été sélectionnées conjointement selon un processus décrit dans la préface. Tout d'abord, Terrenz classe les machines issues des différents livres présents, sans expliquer ses critères. Après qu'il en ait pris connaissance, le fonctionnaire chinois effectue alors son propre tri, en écartant les machines « qui ne sont pas liées à la vie du peuple ou à un usage quotidien [...] ou d'un besoin urgent pour la nation »³⁵. Ainsi, les machines qui donnaient un côté très courtisan aux théâtres de machines renaissants sont d'emblée écartées, que ce soit les machines des métiers, comme les tours, ou tout ce qui touche au luxe des palais : notamment les fontaines d'apparat, les automates et les orgues hydrauliques. Au final, les machines se répartissent en quelques grands types : moulins à moudre (15), grues (13), machines à élever l'eau (9), treuils (4), scies (5), et d'autres machines éparses (7), dont la roue à livre de Ramelli, le canon à eau de Zeising, la machine agraire de Besson, ou une horloge de Veranzio.

L'utilité directe n'est pas le seul critère de choix et Wang Zheng lui ajoute la simplicité comme second pré-requis. Ainsi, les machines « qui ont trop de vis et de roues dentées » ne sont pas compilées³⁶. L'exigence de simplicité est à la fois issue de la critique européenne diffusée par Terrenz de machines inutilement complexifiées, mais aussi de la volonté de Zheng de faciliter la compréhension et l'accès des machines aux artisans. Les dessins doivent être faciles à comprendre, et les machines demander peu d'investissement, afin que tout un chacun puisse fabriquer une machine à partir d'un des dessins proposés. D'ailleurs, les décors sont épurés et les personnages sinisés.

Derrière ce choix de la simplicité, nous pouvons aussi deviner un non-dit : la difficulté pour les graveurs chinois à rendre compte de machines trop complexes. En effet, une fois le choix effectué, Zheng doit redessiner et faire graver sur bois les

³⁴ *Ibid.*

³⁵ « Préface » dans Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, *QQTS*, *op. cit.* Texte original : "[Some of the machines] were not related to people's lives and daily use, such as flying bird and water-driven organ, or (some of them) were not in urgent need by the nation. Hence, they were not recorded."

³⁶ *Ibid.* : "But if the method to make it is too difficult, such as a machine with too many screws and worm gears, which could not be made by craftsmen according to the pattern, or perhaps the cost of a machine was quite high, thus, (we) didn't record (them)."

différentes figures³⁷, puisque les jésuites n'avaient pas les planches originales, mais seulement les livres. Or, bien que la clarté soit une des priorités de Wang Zheng, son incapacité – ou celle des graveurs – à user des règles exactes de la perspective l'empêche de réaliser des dessins parfaitement orthodoxes. Pour Samuel Edgerton³⁸, c'est la marque de l'incompréhension des graphismes européens par les chinois, qui usent d'une perspective simplifiée, sans ombrage, et qui ne connaissent pas les divers codes graphiques utilisés dans les ouvrages techniques (vue par transparence, éclaté). Pour les chinois, le graveur était avant tout un décorateur, il n'avait pas pour ambition de décrire le réel tel qu'il se présentait. Selon Edgerton, cela conduisait les artistes à faire d'importantes erreurs cinématiques³⁹.

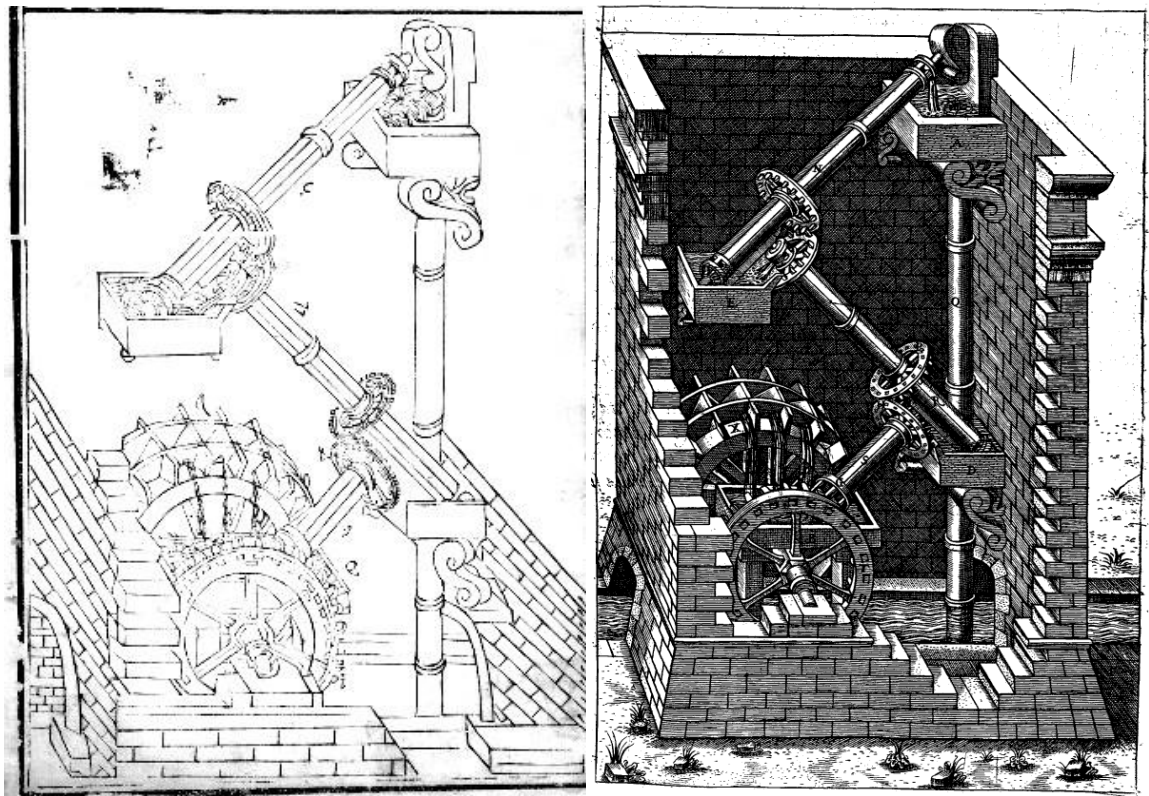


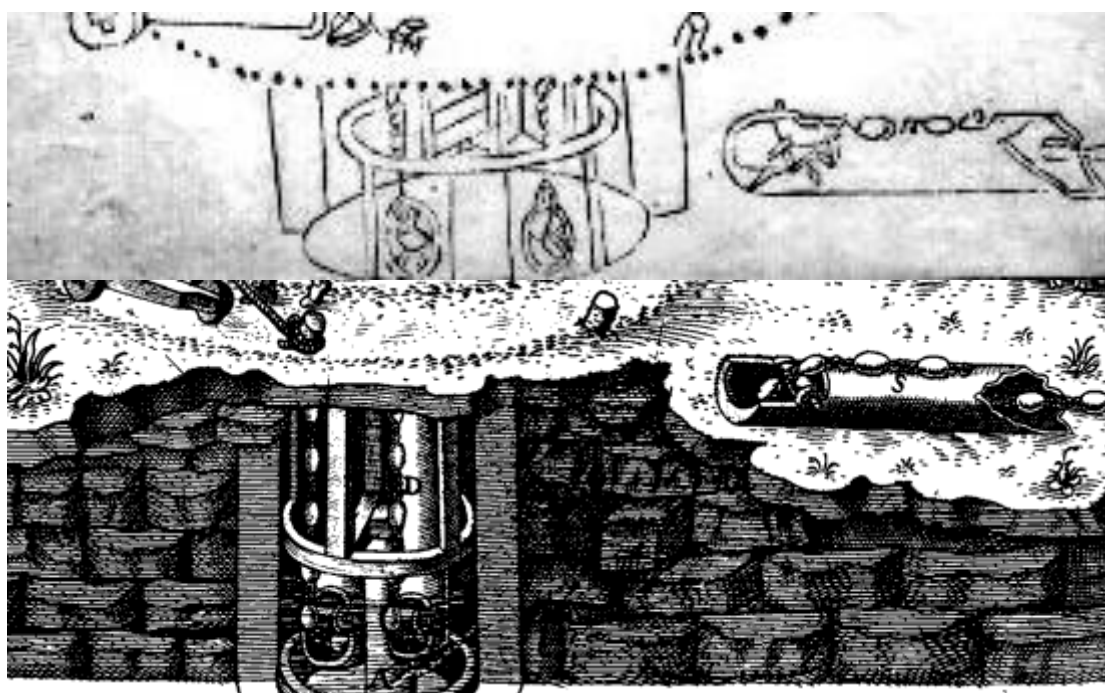
Figure 1 : « la première figure d'élévation de l'eau » tirée de Wang Zheng et Johann Terrenz Schreck, *Yuanzi Qiqi Tushuo Luzui* (Pékin, 1627), chapitre 3 ; et l'illustration du chapitre 45 de Agostino Ramelli, *Le diverse et artificiose machine* (Paris, 1588)

³⁷ La gravure sur cuivre n'existe pas en Chine, ni la presse pour en imprimer les planches. Par ailleurs, même dans la gravure sur bois, nuances de ton et ombres n'étaient pas rendues, car la plupart des images étaient peintes.

³⁸ H. Vérin et G. Métaillé, *op. cit.*, reviennent en détail sur ce point.

³⁹ Samuel Y. Jr. EDGERTON, « The Renaissance Artist as Quantifier », *op. cit.*

Après un examen approfondi des images, il est difficile de lui donner entièrement tort, et les gravures chinoises fourmillent en effet d'imprécisions et d'omissions, permettant de faire le lien logique entre un mécanisme et un autre. La plupart des erreurs sont dans les liaisons entre les roues dentées et les lanternes, ou entre deux poulies, où la corde n'est pas représentée. Les liaisons cinématiques, si importantes pour la compréhension de la machine, sont donc souvent mal représentées et certains non-sens choqueraient tout européen. Remarquons dans la figure ci-dessus la perspective douteuse, la difficulté de lecture – notamment de l'arbre de la noria et de la roue dentée – qu'implique l'absence d'ombrage, l'imprécision du bas et du haut des vis (entrée et sortie d'eau), l'absence d'eau dans le baquet du premier niveau, et surtout, le plus important, l'absence de représentation correcte de la liaison entre la première roue dentée et la lanterne de la première vis. Les erreurs de ce type sont nombreuses, de même que certaines techniques particulières comme la *cutaway view* (l'arraché) notamment, ou l'éclaté, sont très mal reprises. L'objectif de faire de ces dessins des modèles à reproduire semble donc en parti échouer⁴⁰.



⁴⁰ L'idée que le graphisme utilisé dans le QQTS obéit à des conventions graphiques chinoises est écarté par Edgerton qui montre que, reprises par des chinois, pour l'édition d'une encyclopédie au XVIII^e siècle, les nuages (qui dans le QQTS mentionnent une ellipse du terrain) deviennent des vagues marines, montrant une incompréhension d'une image du QQTS par d'autres chinois.

Figure 2 : « la quatrième figure d'élévation de l'eau » tirée de Wang Zheng et Johann Terrenz Schreck, *Yuanzi Qiqi Tushuo Luzui* (Pékin, 1627), chapitre 3 ; et extrait de l'illustration du chapitre 73 de Agostino Ramelli, *Le diverse et artificiose machine* (Paris, 1588)⁴¹

Pour autant, gardons-nous de déduire trop facilement de cette difficulté pour les graveurs chinois à reproduire les techniques graphiques européennes que l'auteur du QQTS n'avait pas compris les machines, ou que le livre soit inapte à en faire comprendre le fonctionnement. Il semble que ce soit plutôt un problème de maîtrise du dessin qu'un vrai problème d'incompréhension. Les images sont en effet toutes accompagnées d'un texte, qu'elles illustrent, et que la traduction anglaise nous rend plus accessible. Or ce texte ne contient pas d'erreur cinématique et obéit au même impératif de simplicité et d'universalité :

« Là-dessus [après l'enseignement], M. Terrenz sortit des livres entiers sur les explications et les figures de diverses machines, les classa et me les dicta. Ensuite, j'ai écrit librement et rapidement, sans ordre (« *sequence* ») ni décorations. J'ai toujours souhaité être simple, clair et facile à comprendre pour que tout le monde puisse le lire. »⁴²

Les explications données par Zheng/Terrenz ne sont donc pas une traduction directe des textes des auteurs européens. Le schéma général en est légèrement modifié, mais le mode de description par le chemin cinématique est repris, bien que Zheng mette l'accent sur l'idée de la fabrication et plus uniquement sur l'idée d'une monstration, comme ici sur « l'explication de la première image d'une machine à élever l'eau », qui correspond au chapitre 45 du *diverse et artificiose machine* d'Agostino Ramelli (voir Figure 1 : p. 70) :

« Premièrement, *faîtes* une grande roue verticale, dans laquelle une noria est cachée, comme A. Elle tourne (monte) l'eau par une auge, comme E. Sur le même arbre de la grande roue verticale, il y a une deuxième roue verticale avec des dents, comme I. Deuxièmement, *faîtes* trois vis qui sont installées vers le haut dans le bon ordre, comme O, U et C. À l'extrémité inférieure de la première vis, il y a un petit tambour tournant (une lanterne) qui a aussi des dents, comme CH, lesdites dents étant en prise avec les dents de la seconde roue verticale

⁴¹ Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique <http://cnum.cnam.fr>.

⁴² « Préface » dans Johann TERRENZ (SCHRECK) et Wang ZHENG, QQTS, *op. cit.* Texte original : "Thereupon, (Mr. Terrenz) took out whole books on the diagrams and explanations of various machines, classified (them) and dictated (them to me). Then, I wrote freely and quickly without sequence and decoration. I always wished it would be simple, clear and easy to understand so that every one could read (them)."

[...] Ainsi, l'eau monte naturellement. La *fabrique* des vis est décrite en détail dans le *Taixi Shuifa* (technique hydraulique de l'extrême-occident). »⁴³

Ce texte montre que les imprécisions de l'image sont compensées par une description détaillée des pièces et des liaisons cinématiques de la machine. Notons d'ailleurs que la pièce principale, la vis d'Archimède, n'est pas représentée en détail, ni ici, ni ailleurs dans les figures, contrairement à Ramelli, qui profite d'un éclaté dans une autre machine pour montrer comment se compose une vis d'Archimède. Les auteurs préfèrent renvoyer le lecteur à un autre livre chinois sur les techniques européennes. Dans d'autres descriptions, les précisions sont apportées dans le texte même⁴⁴.

Par ailleurs, outre ces précisions et références extérieures, le lecteur bénéficie du véritable glossaire que fournit l'iconographie du chapitre précédent sur les machines simples. Dans celui-ci en effet, sont non seulement expliqués, mais aussi représentés les lanternes, les roues dentées et autres mécanismes. Point important : la représentation de ces pièces, à part, et accompagnée d'explications plus complètes, est souvent un peu plus soignée que celle des figures de machines. Ainsi, les images, placées, comme dans les théâtres de machines, en vis-à-vis des textes, viennent apporter une simple aide nécessaire à la compréhension générale de la machine, sans accorder beaucoup d'attention aux détails, étudiées par ailleurs de façon plus approfondie. Il s'agit simplement d'avoir quelques exemples en mémoire, sans que le degré de précision soit très élevé. Wang Zheng rappelle qu'une machine-type, qu'une « méthode », peut se diviser en une multitude de variétés, expliquant que les machines à élever l'eau sont plus de 110 (nombre qui correspond au nombre de machines de ce genre dans le Ramelli). En bref, le QQTTS se conçoit comme un ensemble indivisible, résultat d'un enseignement global, pour une transmission globale et complète de la science des machines européennes.

Dans cet ensemble, le rôle des théâtres de machines n'est pas anodin. Ils marquent tout à la fois le début de l'enseignement, en attisant curiosité et désir d'apprendre, et son

⁴³ Nous soulignons. Chapitre 3, 1^{ère} figure des machines à élever l'eau dans *Ibid.* Texte original : "Firstly, make a big vertical wheel, in which a noria is hidden, as A. It turns (lifts) water into a trough, as E. On the same shaft of the big vertical wheel, there is a second vertical wheel with teeth, as I. Secondly, make three screws which are settled upward in proper order, as O, U and C. At the lower end of the first screw, there is a small drum wheel (lantern) which also has teeth, as CH, and with its teeth engages the teeth of the second vertical wheel. [...] Thus, water naturally goes upwards. Screw-making is described in detail in *Taixi Shuifa* (Hydraulic technology of the Far West)."

⁴⁴ H. Vérin et G. Métaillé cite par exemple une description de Zheng où celui-ci revient en détail sur la forme d'une manivelle, là où Ramelli précise simplement : « la manivelle, qui est faite en façon de vilebrequin ».

aboutissement par quelques exemples cinématiques. L'ambiguïté des différentes facettes des théâtres, qui se voulaient à la fois pédagogiques et courtoises, est ici pleinement utilisée, mais dans un objectif différent. Gardons-nous, en effet, de ne voir au final dans le QQTS qu'une sorte d'édition chinoise d'un théâtre de machines renaissant, ou alors d'un nouveau genre, non fondé sur la reconnaissance de l'*ingenium*, mais sur la pédagogie. La partie théorique impose donc ici un glissement du sens et se présente comme un ensemble de règles permettant de passer du dessin à la machine réelle, en s'assurant des dimensions et d'une efficacité calculée. L'écriture sur un mode impératif, qui s'insère dans le QQTS à la place d'un indicatif plus descriptif, fait plus que contraindre le regard, il appelle à la fabrication. Il ne s'agit plus ici de former un nouvel inventeur, mais de proposer à de futurs chefs de chantier, ces « artisans supérieurs », les moyens scientifiques de construire des machines dont il a vu quelques exemples.

Le QQTS témoigne ainsi d'une lecture plutôt utilitariste des théâtres de machines, donnant les outils pour choisir parmi un catalogue d'inventions. Cette lecture, qui pourrait être due uniquement au fait qu'un fonctionnaire chinois demande à un missionnaire jésuite les moyens d'améliorer la production de son pays, semble en réalité largement partagée, y compris en Occident⁴⁵, et notamment dans le Saint-Empire. Cependant, il manque cet esprit encyclopédique, d'exhaustivité, qui marque la « piste allemande ».

La piste allemande : encyclopédisme et théâtres de machines (1607-1727)

La démarche pédagogique est aussi au centre du projet des éditeurs allemands. Le monde technique germanique du début du XVII^e siècle est organisé, et les techniques sont souvent administrées depuis de petits États assez centralisés. Le courant allemand est donc moins propice à l'originalité des inventions, mais davantage à leur juste administration, qui nécessite la mise en place d'une bonne formation des concepteurs, et notamment des architectes, dont l'intérêt pour les inventions mécaniques demeure assez fort. C'est à cet objectif que répondent les nombreuses

⁴⁵ Voir aussi *infra* « L'utilité des modèles et du catalogue », p. 131, et « Du catalogue aux traités », p. 271.

traductions, rééditions et compilations de théâtres de machines, assurant une diffusion de ces ouvrages dans le monde germanique plus importante que partout ailleurs⁴⁶.

En effet, les deux principaux théâtres de machines sont traduits en allemand assez tôt : Besson en 1595, puis Ramelli en 1620, auxquels il faut ajouter une édition allemande du livre de Joseph Boillot en 1603, une version allemande du livre de Salomon de Caus dès 1615 et les éditions allemandes des *Dessins artificieux* de Jacob Strada (1618, 1629). Dès le début du XVII^e siècle, la plupart des théâtres de machines sont donc accessibles en langue allemande.

Traductions et rééditions ne sauraient pourtant résumer l'activité allemande dans le domaine des livres de machines. Outre une littérature un peu plus abondante qu'ailleurs en théorie *statique* tout au long du XVII^e siècle, un projet particulier, fondé sur la précision des descriptions et le développement de commentaires théoriques, dessine une nouvelle piste, allemande, de théâtres de machines.

Heinrich Zeising : une encyclopédie portative de théâtres de machines (1607-1614)

Le parangon de ce nouveau type de théâtre de machines est un certain Heinrich Zeising, amateur d'architecture⁴⁷, dont nous ne savons qu'assez peu de choses. Il est associé à son ami le bourgeois et libraire de Leipzig Henning Grosse, qui finance la production des gravures sur cuivres, imitées de planches d'autres livres, et la publication des tomes. Le premier tome des *Theatri machinarum* paraît en 1607, avec une dédicace au bourgmestre et aux échevins de la ville de Leipzig. Il est réédité, dans une version très allégée, en 1610, et suivi d'un second tome en 1611, et d'un troisième en 1612. Après la mort de Zeising, Henning Grosse publie trois nouveaux tomes de 1612 à 1614, en confiant les explications à Jérôme Megiser, homme de lettres allemand, connu pour ses dictionnaires et son activité éditoriale, ainsi que son rôle d'historiographe de Christian II de Saxe, qui lui obtint le titre de comte palatin⁴⁸.

⁴⁶ Voir « Une littérature au rayonnement européen », p. 95.

⁴⁷ Sur les frontispices, est indiqué « Henricum Zeising der Architectur Studiosum ». « Studiosum » porte à confusion : en allemand, le mot signifie clairement « étudiant » ; en latin classique, cela se traduirait davantage par « qui s'applique à », voire « amateur ». Or, les noms et prénoms de l'auteur sont ici latinisés, quand la mention de son activité est précédée d'un article défini allemand.

⁴⁸ Henning Grosse avait publié en 1609 une *Description de Madagascar* que Jérôme Megiser avait traduit en allemand.

Linguiste réputé, il pense davantage son travail en termes de traduction et de transfert qu'en termes de commentaires⁴⁹. Les ouvrages de Zeising sont réédités dans les années 1620, puis en 1673, et enfin en 1708 à Leipzig, où Jacob Leupold, s'en inspirant largement, réalisera ses propres *Theatri machinarum*⁵⁰. À côté des quelques éditions allemandes de livres antérieurs, cet ouvrage est le principal outil de diffusion de la tradition des théâtres de machines dans le monde germanique.

L'objectif de la collection est clairement affirmé dans la préface du premier tome : il s'agit d'étendre aux plus de personnes possibles, et notamment aux maîtres-artisans explicitement visés, l'enseignement de connaissances mécaniques de base. Pour remplir cette mission, l'auteur reprend bien sûr l'argument du théâtre comme lieu de monstration. Une démarche que montre bien la traduction allemande du titre : « *Theatro oder Schaubuch* »⁵¹. « Schaubuch », littéralement « livre à regarder »⁵². Cela se traduit non seulement dans les explications, mais aussi dans les images qui représentent toutes un personnage montrant à un autre la machine⁵³.

Mais l'auteur s'appuie aussi sur les préceptes de la réduction en art : rassembler les savoirs de plusieurs auteurs en un seul livre⁵⁴ est une méthode clairement énoncée. Cela explique que son ouvrage soit complété par des indications juridiques, comme cette réglementation de la meunerie en Saxe, telle qu'elle fut mise en place par Auguste I^{er} que Henning Grosse publie dans son troisième tome. Fidèle aux principes de la réduction en art, l'auteur ne s'arrête pas à la compilation. Il s'agit de rendre ce savoir accessible et compréhensible à tous. Pour ce faire, il s'appuie sur un corpus plus théorique, notamment la traduction allemande commentée de Vitruve par Gualtherus Rivius, le traité du poids et de la balance du même, que Zeising résumé au début de son

⁴⁹ Dans la préface au quatrième tome des *Theatri machinarum*, qu'il rédige, Jérôme Megiser affirme ainsi : „ich [...] etliche schöne und scharffsinnige Mechanische *Inventiones* aus Italianischer und Französischer in unser Teutsche Sprach transferirt.“ Ce tome contient principalement des reprises de théâtres de machines antérieurs, et notamment du Ramelli.

⁵⁰ Voir *infra* « Les *Theatri* de Jacob Leupold : l'aboutissement du genre (1724-1727) », p. 85, et « Partie III : Technologie et théâtres de machines : l'œuvre de Jacob Leupold (1724-1727) », p. 313.

⁵¹ ZTM1, préface, §2.

⁵² Dans les autres livres allemands, le mot de « théâtre » est traduit par « Schauplatz », mot allemand actuel qui désigne un théâtre en tant que bâtiment et que scène. La racine du mot est la même : « Schauplatz » signifie littéralement « lieu à regarder ». Le titre allemand du Ramelli quant à lui indique « Schatzkammer mechanischer Künste », littéralement « Chambre des trésors d'art mécaniques ». « Schatzkammer » se rapproche ici de « Kunstkammer », mot qui désignait les cabinets d'artificialia.

⁵³ Sur ce point, voir *infra* : « Témoigner : fonction principale des images » p. 280.

⁵⁴ ZTM1, préface, §2. Texte original : „auss irer [scharffsinnigen Leuten] und anderer hinderlassenen Schrifften zusammen bringen und aus vielen ein Buch machen will“.

premier tome⁵⁵, et les œuvres de Jérôme Cardan, dont il traduit un extrait à la fin du même premier tome⁵⁶. Zeising est le premier des auteurs à mettre ainsi en place une introduction théorique à ses explications, et le premier à publier des machines issues de traités à visée principalement théorique. L'auteur n'hésite d'ailleurs pas à faire quelques digressions théoriques dans ses descriptions quand celles-ci le permettent. De plus, à partir du second tome, Zeising reprend l'idée de Zonca de placer une légende sous forme de table à la fin de chacune de ses descriptions. Tout est fait pour faciliter la lecture.



Figure 3 : Figure XII de Heinrich Zeising, Theatrum machinarum erster theill (Leipzig, 1612)

Ce désir d'être accessible se traduit aussi dans le choix de la langue vernaculaire et d'un format plus petit (petit *in-quarto* au lieu d'*in-folio*) et donc moins cher :

« Mais parce que les *auteurs* qui ont écrit ces choses ne l'ont pas fait en langue allemande, et aussi qu'ils les ont imprimés en grand format et qu'ils sont très chers en or : ce *théâtre* est lui en plus petit format et accessible à un prix plus modeste. »⁵⁷

⁵⁵ Gualtherus H. RIVIVS, *Von rechtem Verstand, Waage und Gewicht etliche Büchlein zu sonderlichem verstandt Künstlicher Mechanischer invention der Geometrischen messung angehenckt*, Gedr. durch G. Heyn, 1560, book p ; Gualtherus H. RIVIVS (dir.), *Marci Vitruvii Pollionis Zehen Bücher von der Architectur und kunstlichem Bawen [...] Erstmals verteutsch unnd in Truck verordnet*, Bâle, S. Henricpetri, 1575. Zeising résume le traité « Von rechtem Verstand... » en 17 définitions, 6 pétitions, et 13 propositions. Il est encore cité au XVIII^e siècle par Leupold.

⁵⁶ Il s'agit du chapitre 47 du livre 9 de Jérôme CARDAN, *De rerum varietate libri XVII*, Bâle, H. Petri, 1557..

⁵⁷ ZTM1, préface, §6. Texte original : „sonderlich weil die Autores, so von diesen geschrieven in Deutscher Sprach nicht mal zu bekommen auch mehrertheils in grossem Format gedruckt und sehr thewer am Gelde sein : Dieses Theatrum aber in bequemer form und mit leichten kosten zu erzeigen ist.“

Assise théorique, compilation, multiplicité des tomes, accessibilité matérielle et vulgarisation : ces caractéristiques signent une nouvelle façon d'écrire des théâtres de machines, la filiation avec la réduction en art s'étiole au profit de traités encyclopédiques plus cohérents ajoutant des théories savantes à des descriptions raisonnées de nombreuses machines. Né à Leipzig, ce nouveau mode d'écriture se diffuse dans le monde germanique.

Le *Theatrum machinarum novum* d'Andréas Böckler : une réédition augmentée

À bien des égards, le livre de Salomon de Caus semble influencé par l'œuvre de Zeising, et aurait pu s'inscrire dans cette piste allemande, dont il reprend l'idée de fonder théoriquement ses descriptions. Cependant, la singularité du contexte de publication et le caractère personnel des machines nous empêche de classer définitivement cet ouvrage dans un courant particulier. Aussi, la véritable deuxième étape de cette piste allemande est la publication, en 1661, du *Theatrum machinarum novum* (grand in-4°) de Georg Andreas Böckler, à Nuremberg. L'auteur est architecte et ingénieur, au service de l'électeur palatin Charles I^{er} Louis, à qui est dédié l'ouvrage. En réalité, l'ouvrage est une commande de l'éditeur Paul Furst : « l'éditeur de ce livre a acquis diverses gravures sur cuivre [...] que j'ai été chargé non seulement de mieux classer et de décrire en détails »⁵⁸. Comparé au livre de Zeising, ou même de Salomon de Caus, le projet s'affirme sa modestie : aucun développement théorique n'est esquissé, et la majorité du fonds de ces nombreuses planches vient des *Dessins artificieux* de Jacob Strada, que l'auteur cite dans la préface. Il justifie l'emprunt en mettant en avant de nouvelles explications, et la publication de quelques inédits. Les textes demeurent toutefois assez courts et suivent le modèle développé dans le Ramelli. L'ouvrage ressemble ainsi aux anciens théâtres de machines. En revanche, le caractère encyclopédique de l'œuvre de Strada est mis en avant, et l'idée de compiler les savoirs demeure présente avec la copie, en annexe, du texte de réglementation sur la meunerie en Saxe.

⁵⁸ « Préface » dans Georg Andreas BÖCKLER, *Theatrum machinarum novum, das ist : Neuvermehrter Schauplatz der mechanischen Künsten*, Nuremberg, Paul Furst, 1661. Texte original : „So hat der Verleger dieses Werck unterschiedliche Kuppfer-Figuren [...] an sich erkauffet dieselbige durch mich nicht allein in eine bessere Ordnung bringen solche so viel immer möglich unständig zu beschreiben“

Pour autant, preuve que l'abandon d'une introduction théorique ne va pas de soi, Böckler explique sa position. Il opère une séparation très nette entre la mécanique spéculative et la mécanique pratique. La première traite des principes de la mécanique, et comprend en réalité un corpus de mathématiques mixtes assez imposant en Allemagne. La seconde « comprend le travail manuel, l'élaboration d'innombrables outils permettant d'accomplir quantité de tâches fort utiles »⁵⁹. Cette seconde partie, « pratique », comprend donc l'élaboration, la conception des machines et leur fabrication. L'auteur décide de se focaliser uniquement sur la seconde, laissant de côté la théorie *statique* qui compose la partie « spéculative » de la mécanique, car il considère qu'elle est déjà largement traitée :

« Cette partie de la *Mécanique* a été traitée et parfaitement décrite depuis des centaines d'années par quantité d'hommes illustres et distingués, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'en parler plus longuement ici. Le lecteur intéressé consultera ces travaux. »⁶⁰

Contrairement à la condamnation des savants dans les théâtres de machines renaissants, l'auteur invite le lecteur à prendre connaissance de cet autre corpus, complémentaire. Ainsi, le lien entre pratique et théorie qui fonde la tradition allemande n'est-il pas totalement rompu, il est déplacé dans le temps. L'ouvrage semble connaître un beau succès comme en témoignent plusieurs rééditions dans les deux décennies suivantes, mais il s'efface devant la publication, au début du XVIII^e siècle, des livres de Jacob Leupold.

Les *Theatri* de Jacob Leupold : l'aboutissement du genre (1724-1727)

Fils d'un fabricant d'objets de tours, d'horloges et d'autres objets de collections, Jacob Leupold est envoyé très tôt faire des études de latin et de théologie, mais ses professeurs l'orientent vers l'étude des mesures mathématiques. Fort de cette formation théorique, il devient concepteur et marchand d'instruments scientifiques, et gagne très vite une grande réputation grâce à l'ingéniosité de ses machines. Sa notoriété lui permet de devenir membre de l'académie des sciences de Berlin, en 1719, et, la même

⁵⁹ *Ibid.* Texte original : „*Practica*, nemlich der ander Theil der *Mechanica*, bestehet solcher in willkührlicher Hand-Arbeit dardurch man denn unzehlich vierlerlei Künst : und nützliche Sachen verrichten und in das Werck stellen kann.“

⁶⁰ *Ibid.* Texte original : „Von diesem esten Theil Der *Mechanica* nun / haben von etlich hundert Jahren her / viel wornehme berühmte Leute / wie Männiglichen vekand (bekand ?) / ausführlich und umständig geschrieben / derowegen solche zu *allegiren* / allhie ohne Noth / und der künstige Leser dahin verwisen wird.“

année, membre du conseil du commerce de Prusse. Fort de cette position, il publie, en 1720, un prospectus dans lequel il développe son projet de *Theatrum machinarum*, qui serait cofinancée par l'académie des sciences de Prusse, Auguste-le-fort et l'empereur Charles VI de Habsbourg. Jacob Leupold s'applique alors à réunir une bibliothèque d'une valeur de 3000 Thalers⁶¹, et fait quelques voyages d'études. En 1724, la publication de l'œuvre, conçue depuis plusieurs années, débute chez les Gleditsch, prestigieux éditeurs scientifiques, connus pour la publication des *Acta eruditorum*⁶². Mort en 1727, Jacob Leupold laisse ainsi sept tomes d'une œuvre magistrale, et dont le tableau ci-dessous, tente de résumer la richesse :

Tome	Titre	Sujet	Date	Auteur	Référence abrégée ⁶³
I	Theatrum Machinarum Generale	Principes de la statique, descriptions des principaux moteurs	1724	Leupold	TM1
II	Theatrum Machinarum Hydrotechnicarum	Mesure et contrôle du débit des cours et chutes d'eau	1724	Leupold	TM2
III	Theatrum Hydraulicarum I	Instruments particuliers d'élévation des eaux (vis d'Archimède, pompe)	1724	Leupold	TM3
IV	Theatrum Hydraulicarum II	Machines à élever les eaux	1725	Leupold	TM4
V	Theatrum Machinarum	Machines à élever et transporter les charges lourdes	1725	Leupold	TM5
VI	Theatrum Staticum Universale	Principes statiques appliqués à différentes énergies (poids, air, eau)	1726	Leupold	TM6
VII	Theatrum Pontificale	Fabrication des ponts	1726	Leupold	TM7
VIII	Theatrum Arithmetico Geometricum	Instruments de mesure et instruments scientifiques	1727	« héritiers de Leupold »	TM8
IX	Theatrum Machinarum Molarium	Machines à moudre grains et autres	1735	J.M. Bayer	TM9
X	Theatrum Machinarum Supplementum	Divers instruments et machines, index général	1739	J. Scheffler	TM10

Tableau 2 : Panorama des *Theatri Machinarum* de Jacob Leupold, 1724-1739⁶⁴.

Toute la troisième partie de cette thèse est consacrée à son œuvre, aussi n'insistons-nous pas trop sur le contenu des ouvrages ici. Notons simplement qu'ils se

⁶¹ Un thaler vaut à peu près un écu d'argent de 6 livres. C'est donc une bibliothèque de 18 000 livres que réunit Leupold. Quand on sait qu'un Ramelli se vendait environ 50-60 livres (voir « Les théâtres de machines et la bibliophilie », p. 107), la bibliothèque devait réunir entre 300 et 1500 volumes de différents formats.

⁶² Équivalent du *Journal des savants* en France, les *Acta eruditorum*, fondés par Leibniz et Otto Mencke sont la principale publication scientifique en langue allemande du XVIII^e siècle. Entre autres mémoires et comptes-rendus, ils traduisent régulièrement les mémoires et travaux de l'académie royale des sciences de Paris.

⁶³ Dans les références à toutes les citations suivantes, nous désignerons ainsi les différents tomes des *Theatri*.

⁶⁴ Inspiré de George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.* p. 12.

situent dans la ligne de la tradition allemande, mêlant séries de machines, descriptions détaillées et assise théorique. D'une certaine manière, les *Theatri* de Leupold constituent même l'aboutissement de cette tradition. Le contexte de publication, loin de l'influence des architectes et de puissants éditeurs, en est cependant bien différent.

La réussite de l'entreprise de Jacob Leupold doit beaucoup à l'appui des monarques germaniques et à l'amitié des plus grands acteurs du monde scientifique allemand de l'époque, dont Christian Wolff⁶⁵, sans doute rencontré à Iéna ou Leipzig, où les deux hommes firent leurs études à peu près aux mêmes moments. Le projet du marchand d'instruments scientifiques répond, sans aucun doute, à une attente, un besoin et un désir profond d'une société saxonne qui doit sa puissance aux mines d'argent. Sur ce point, l'ouverture des mines au savant Agricola au milieu du XVI^e siècle témoigne de l'intérêt déjà ancien des Wettin pour les arts mécaniques. Par ailleurs, le contexte européen est largement favorable à l'utilisation des résultats scientifiques pour le développement des techniques. Tout cela explique sans doute le soutien financier et logistique qu'Auguste-le-fort n'hésite pas à donner à Jacob Leupold, dont les instruments témoignent de sa capacité à réaliser un tel ouvrage.

Nulle surprise, donc, à ce que le premier tome de la collection ne s'ouvre sur une dédicace à Auguste-le-fort. Celle-ci compare le souverain saxon à Auguste-Octavien, premier empereur de Rome et mécène célèbre, auquel Vitruve avait dédié son ouvrage. Mais au-delà de la comparaison, qui, bien qu'il s'en défende⁶⁶, permet à Leupold de se placer au niveau de Vitruve, ce dernier flatte ici l'intérêt du souverain pour les arts :

« Car Dieu a donné la chance à votre royale Majesté ⁶⁷ [...] d'être abondamment doté d'une plus haute expérience et connaissance des arts et des sciences. C'est pourquoi non seulement vous aimez les arts et les artistes⁶⁸, mais aussi vous les protégez puissamment, par de magnifiques bâtiments et des palais très singuliers, par votre propre et haute disposition, et

⁶⁵ Christian Wolff est un philosophe et mathématicien allemand, qui eut une grande influence sur la pensée européenne au XVIII^e siècle. Il est considéré pour être à la fois le continuateur de Leibniz, et un grand diffuseur de ses idées. Outre plusieurs ouvrages philosophiques en latin, Christian Wolff s'est beaucoup intéressé aux mathématiques et aux techniques. Il a notamment rédigé plusieurs traités et manuels de mathématiques, et a traduit *l'Architecture hydraulique* de Bélidor en allemand.

⁶⁶ Dans la dédicace du TM1, Leupold annonce à la fin de la comparaison : « je ne veux vraiment pas comparer mes écrits à ceux de Vitruve... ». Texte original : « Ob ich nun zwar meine gegenwärtige Schrift mit der Vitruvanischen nicht vergleichen will... ». Toutes les traductions tirées de Leupold sont personnelles, parfois simplifiées dans le style.

⁶⁷ Auguste-le-fort est alors aussi roi de Pologne.

⁶⁸ Les mots employés « Kunst » et « Künstler », ont, comme en français, un sens très large et désigne à la fois les beaux-arts et les arts mécaniques. On aurait tout autant pu traduire « Künstler » par artisan.

par une *Collection*⁶⁹, aussi exquise que précieuse de toutes les choses artificielles, rares et merveilleuses ou d'œuvres d'art naturelles, dont on ne trouvera la pareille que difficilement ou pas du tout dans un autre royaume, exposée aux yeux du monde entier, pour l'éclat et la promotion des arts et des sciences, ainsi que pour l'utilité particulière des États. Cette *collection* présente non seulement des œuvres d'art *extraordinaires*, mais aussi de si petites et habituelles œuvres de l'art. »⁷⁰

L'insistance sur l'aptitude d'Auguste-le-fort en matière d'art et de mécanique laisserait peut-être penser que Leupold connaissait personnellement son souverain. Peut-être s'est-il rendu à Dresde, où sont rassemblés tous ces « magnifiques bâtiments » commandés en grande partie par le monarque pour mettre en valeur aux yeux du monde ses riches collections, et surtout pour les réorganiser afin qu'elles correspondent aux canons scientifiques du moment⁷¹.

En 1724, date d'écriture de la dédicace, la « voûte verte » venait d'être aménagée dans le château de Dresde pour accueillir les collections d'objets précieux⁷². Par ailleurs, la construction du palais Zwinger, célèbre musée des Wettin, avait été achevée deux ans auparavant. Ce palais accueillait, outre les porcelaines et les peintures de la Renaissance, la salle d'armes. Or, justement en 1724, une partie des collections qui y étaient exposées est réunie avec d'autres pièces éparses pour former le Salon de mathématiques et de physique, qui contient des horloges et de nombreux instruments scientifiques. Peut-être est-ce de ces instruments dont parle Leupold à la fin du passage, des instruments sans doute déjà considérés comme plus modestes et moins spectaculaires que les œuvres d'art « extraordinaires ». Toujours est-il que notre auteur

⁶⁹ En français dans le texte. Tous les mots cités mis en italiques sont en français ou en latin dans le texte. Nous traduisons le latin.

⁷⁰ TM1, dédicace. Texte original : „Denn GOTT Eure Königliche Majestät [...] hoher Erfahrung und Erkenntnis der Künste und Wissenschaften reichlich ausgezieret, dahero Selbige nicht nur die Künste und Künstler liben, sondern auch mächtig beschützen, solches auch durch herrliche ganz besondere Palläste und Gebäude, durch selbst-eigene hohe Anordnung und durch eine so wohl köstliche als hochschätzbare *Collection* aller künstlichen raren und wunderbahren Sachen, sowol der Natur als Kunst, dergleichen schwerlich oder gar nicht in einem andern Reiche zufinden sein wird, zur Aufnahme und Beförderung der Künste und Wissenschaften, auch beseonderen Nutzen des Landes, aller Welt vor Augen darstellen, und nicht nur diejenigen, so *extraordinaire* Kunst-Wercke aufweisen, sondern auch die so nur etwas geringes doch kunst-mätziges aufstellen können.“ La traduction de la partie entre „durch eine [...] zufinden sein wird“ a été empruntée à Nicole Casanova, traductrice de Horst BREDEKAMP, *Machines et cabinets de curiosité*, traduit par Nicole CASANOVA, coll. « Collection Latitudes (Paris. 1997), ISSN 1286-8515 ; 4 », 1996. p. 123.

⁷¹ Horst Bredekamp, après avoir cité une partie du même passage montre combien Leupold rompt ici avec le caractère ludique et curieux, avec le jeu entre art et mécaniques des cabinets de curiosités baroques, la technique commençant à se détacher de la "chaîne historique" (nature-antiquités-art-technique) qui présidait à l'organisation des anciens cabinets, et ce, au nom de l'utilité, notion alors de plus en plus mise en avant.

⁷² Auguste-le-fort exposait aussi toute une série de minéraux tirés de l'exploitation des mines de Saxe. Une collection utilisée plus tard par l'école des Mines de Freiberg. Voir Joëlle ROCHAS, « Grünes Gewölbe, le cabinet de curiosités d'Auguste le Fort à Dresde : Les collections de la cour de Dresde, reflet de la richesse minière de la Saxe », <http://curiositas.org>.

précise, dans la dédicace du deuxième tome de la série⁷³, la provenance d'une partie des objets. Rappelant à son souverain que les plus grands empereurs, d'Auguste-Octavien à Ferdinand III, en passant par Constantin et Charles Quint, ont favorisé la mécanique tant pour améliorer l'économie, le commerce, les mines et les manufactures, que par goût personnel, Leupold revient sur les « inventions mathématiques et mécaniques » que possédait Auguste Ier de Saxe, fondateur de la *Kunstammer*⁷⁴ de Dresde.

Pendant les quatre ans qui séparent l'annonce du projet et la publication du premier tome, Jacob Leupold ne devait pas avoir manqué, sinon de participer à la réorganisation, du moins de venir consulter les différentes machines et instruments disponibles dans ces collections, d'autant plus qu'Auguste-le-Grand se montre généreux envers son sujet :

« Depuis quelques années, sa royale Majesté permet d'amener quelques figures de ces livres à une haute clarté, et autorise gracieusement leur communication, de même qu'il a versé quelque argent pour un voyage en Hollande, afin d'améliorer le résultat de ces ouvrages ; tel que me le commandait mon devoir et ma très obéissante obligation. [...] je poursuivrai sans retard mon travail commencé, selon cet ordre gracieux. »⁷⁵

Si le rôle de Leupold dans la réorganisation des collections n'est pas avéré, il est intéressant de noter que c'est à une nouvelle collection qu'il fait référence et plus aux chambres des merveilles et des arts (*Wunderkammern*, *Kunstkammern*). La réorganisation des collections dénote une volonté de sortir d'un classement désormais jugé arbitraire, qui présidait à l'agencement des pièces entre elles. Comme le dit Patricia Falguières, l'ordre le dispute au lieu, au topique, dans ces collections du XVII^e siècle allemand⁷⁶, et au début du XVIII^e siècle, le nouveau paradigme de la science vient proposer de nouvelles classifications, qui expliquent les changements qu'Auguste-le-Grand fait subir à ses objets qu'il constitue en collections cohérentes. Dans

⁷³ Il s'agit du *Theatrum hydrotechnicarum*, qui revient sur les moyens de mesurer débit, vitesse et pression de l'eau.

⁷⁴ Rappelons ici que « Kunstammer » désigne en allemand un cabinet d'*artificialia*, et s'oppose à « Wunderkammer » pour les cabinets de *mirabilia*, œuvres "merveilleuses" de la nature. Auguste de Saxe est notamment connu pour avoir possédé un banc d'orfèvre, actuellement au musée national de la Renaissance d'Écouen.

⁷⁵ Texte original : „Eure königliche Majestät vor etlichen Jahren einige Risse hiervon in hohen Augenschein zu nehmen sich gefallen lassen, und solche Zuschrifft allernädigst erlaubet, auch zugleich zu besserer Fortsetzung dieses Wercks einige Gelder zu einer Reise nacher Holland auszahlen lassen; dass ich also nur gethan was meine Pflicht und unterthänigste Schuldigkeit erfordert hat. [...] dass ich dieses mein angefangenes Werck, nach dero allernädigsten Befehl, ungesäumt fortsetze...“

⁷⁶ Patricia FALGUIÈRES, *Les chambres des merveilles*, Paris, Bayard, coll. « Le Rayon des curiosités », 2003.

ce mouvement, était-il encore possible à Jacob Leupold d'écrire un théâtre de machines comme ses prédécesseurs ?

Le contexte est différent, et il nous faut revenir à la fin de la première dédicace, car elle est intéressante à plus d'un titre. La réitération du vocabulaire de l'obligation (*Schuldigkeit, Befehl*) laisse penser que l'œuvre de Leupold est une sorte de commande, ce qui montrerait avec plus de clarté encore combien était attendue cette œuvre, que le souverain semble sincèrement trouver utile pour « le développement des arts, des mines, des *manufactures*, et à tout ce qui peut servir, dans ce domaine, à l'utilité des États », comme prétend le faire Leupold⁷⁷. Il était d'ailleurs prévu, tel qu'il l'annonce dans la préface du *Theatrum machinarium*, paru en 1725, qu'il rédige un tome entièrement dédié aux mines, mais, d'après la préface du septième tome, celui-ci prend du retard :

« J'espérais vraiment faire suivre la partie sur les machines des mines pour la messe de Pâques à venir, en 1727, aussi ai-je dépensé pour cela beaucoup d'argent, de temps et d'efforts, de même j'ai déjà fait plusieurs voyages différents, seulement, parce que tout ce qui concerne ce propos doit être inspecté, mesuré et calculé, non par les dessins des livres, mais vraiment les machines, telles qu'elles apparaissent dans la nature, il faut plus de temps qu'on ne pense. Cependant, je suis avancé si loin, que (plaise à Dieu !) j'espère les montrer pour la messe de Saint-Michel à venir, en 1727. »⁷⁸

Leupold meurt en 1727, avant d'avoir pu publier cet ouvrage⁷⁹, et ses héritiers n'éditeront pas ses travaux en la matière. Le simple projet d'un livre portant sur l'industrie qui est au cœur de l'économie saxonne, suffit cependant à soutenir la thèse d'une possible commande, de même que les dépenses engagées plaident pour un soutien financier continu de la part d'Auguste-le-fort⁸⁰.

Quoiqu'il en soit, à partir du troisième tome, les dédicaces sont adressées à Charles VI de Habsbourg, empereur du Saint-Empire, ce qui montre que Leupold bénéficiait

⁷⁷ TM1, préface. Texte original : „die Absicht dieses Buch [ist] auf das Aufnehmen der Künste, Bergwercke, *Manufacturen* und allen dem was in diesem Stück zum Nutzen des Landes dienen kann gerichtet“.

⁷⁸ TM7, préface. Texte original : „Ich verhoffte ganz gewiss auf künfftige Oster-Messe 1727 den Theil von Bergwerks-*Machinen* nachzusenden, habe auch daher viele Mühe, Zeit und Unkosten angewendet, auch deswegen schon unterschiedliche Reisen angestellt, alleine, weil nicht alles etwa auf Zeichnungen aus Büchern, sondern wirklich von denen *Machinen*, wie sie *in natura* erscheinen, muss abgenommen, ausgemessen und berechnet werden, erfordert es mehr Zeit als man sich einbildet. Inzwischen aber bin doch in so weit *avanciret*, dass (gel. Gott !) auf künfftige *Michaelis*-Messe 1727 solchen darzustellen verhoffe“

⁷⁹ Notons tout de même, dans le tome 4, quelques remarques sur la conduite des eaux dans les mines (TM4, §300).

⁸⁰ Notons tout de même un appel à un apport financier (Beitrag) des lecteurs dans la préface. Le financement d'Auguste-le-fort, s'il est avéré, ne couvrirait pas tous les frais.

d'un second soutien, non moins puissant. D'une dédicace à l'autre, l'argumentaire varie cependant assez peu : il s'agit de comparer les souverains auxquels s'adresse la dédicace (Auguste-le-fort, Charles VI de Habsbourg) à de grands monarques du passé, romains ou chrétiens, qui ont favorisés les arts et la mécanique, s'y sont adonnés ou ont mis en avant les inventeurs de leur temps.

Leupold profite aussi de ces dédicaces pour défendre auprès de ses souverains l'utilité économique, militaire ou glorificatrice des différentes machines. Ces arguments n'ont rien de nouveau⁸¹, à ceci près que Leupold, comme Zeising ou Böckler avant lui, développe non plus l'utilité de la mécanique en général, mais l'utilité de chaque branche à part. Ainsi, le premier des deux *Theatri hydraulicarum*, qui portent sur les machines hydrauliques, vante non pas l'avantage de telle ou telle machine, mais l'utilité en général d'élever les eaux, pour la vie quotidienne, comme pour l'industrie, notamment minière. De la même façon, les ponts, dans la dédicace au *Theatrum pontificale*, sont dits bien considérés pour leur grande utilité. Même la discipline désignée comme étant le symbole de la mécanique dans son ensemble⁸², celle des machines élevant et déplaçant les poids, est défendue pour ses avantages propres : la mécanique, dans ce sens restreint, servirait donc aussi bien à élever les obélisques à la gloire du souverain, à construire de nombreux bâtiments utiles à l'économie du pays, qu'à combattre efficacement des ennemis et prendre leurs villes, comme l'ont fait Archimède ou les ingénieurs militaires de l'Antiquité. Pourtant, contrairement à Ramelli, pour ne citer que lui, Leupold ne décrit pas de machines de guerre antiques ou médiévales, mais simplement quelques moufles et treuils pour transporter les canons, et ce n'est pas là sa seule différence avec les théâtres de machines antérieurs, comme nous le verrons dans la troisième partie⁸³.

⁸¹ Voir *infra* « Chapitre 5 : Légitimer la conception de machines », p. 173.

⁸² Dans la préface du cinquième tome sur les machines élévatoires, Leupold précise : « ce travail est si important que la plupart, quand ils utilisent les mots mécanique ou machine, sans rien ajouter, les comprennent comme machines élévatoires, alors ce mot de *machinarium*, par son excellence, désigne facilement cette partie ». Texte original : „dieses Werk so wichtig ist, dass die meisten, wenn sie die Worte *Mechanic* oder *Machine*, ohne andern Zusatz oder *Epitheton* gebrauchen, es bloß von Hebzeuge verstehen; dass also das Wort *Machinarium* diesem Theile, wegen dessen Vortrefflichkeit, billig zukommt.“

⁸³ Voir *infra* « Les *Theatri* de Leupold et les théâtres de machines », p. 315.

Le genre relancé (1734-1788)

Les *Theatri* de Jacob Leupold ne sont pas les derniers théâtres de machines à porter ce nom. Après sa mort, ses « héritiers », sans qu'ils ne précisent exactement leur identité, reprennent les travaux du marchand d'instruments et publient non pas le tome tant attendu sur les mines (qui ne paraîtra jamais), mais le *Theatrum Arithmetico-Geometricum* (1727, toujours chez les Gleditsch). Celui-ci consiste en une sorte de catalogue des instruments scientifiques qu'avait conçu et fabriqué Leupold. Le mode de description et le style sont très proches des premiers tomes. Dans leur préface, les héritiers promettent un dernier tome, qui ne paraît qu'en 1739, sous le titre de *Theatrum machinarum supplementum*. Un tel retard est difficile à expliquer, peut-être le changement d'éditeur est-il le signe de querelles entre les héritiers ? L'ouvrage n'est plus en effet édité chez les Gleditsch, mais chez B.C. Breitkopf. Quoiqu'il en soit, outre quelques derniers instruments, celui-ci contient surtout un index complet portant sur tous les tomes de la collection, que l'éditeur semble avoir en sa possession. En 1774, peu de temps après l'ouverture de l'école d'ingénieurs des mines de Freiberg (1765), le même Breitkopf réédite les neuf tomes en sa possession (à savoir les tomes un à huit et le dixième⁸⁴).

Le *Theatrum machinarum molarium*, qui s'insère explicitement dans la collection des *Theatri* de Leupold, semble en réalité n'avoir aucun lien ni avec Leupold, ni avec ses héritiers. Dirigé par un certain Johann Matthias Beyer, qui réunit une équipe autour de lui⁸⁵, il est publié chez le libraire Wolfgang Deer, de Leipzig lui aussi. Si la préface semble faire allusion à un premier auteur inconnu, les liens avec Leupold n'y sont pas explicités. Il semble donc que cette entreprise soit indépendante de celle de Leupold, mais profite de sa notoriété. D'ailleurs, le *Theatrum machinarum molarium* donne lieu à deux autres tomes, desquels toute mention de Leupold a été retirée. Publiés sous l'égide directe de J.M. Beyer, le second tome, de Jacob Born, est publié en 1735, en même temps que le premier et chez le même libraire. Les deux premiers tomes seront réédités en 1767 à Dresde, chez le libraire Walther. Enfin, un troisième tome, signé Johann Karl Weinhold, paraît en 1788, chez le même Walther. Ces ouvrages ne traitent

⁸⁴ Voir « Tableau 2 : Panorama des *Theatri Machinarum* de Jacob Leupold, 1724-1739. », p. 86.

⁸⁵ La page du titre du livre précise : « Fini et mis ensemble par Johann Matthias Beyern et consorts » (TM9. Texte original : „Ausgefertiget und zusammen getragen von Johann Matthias Beyern und Consorten.“

que des moulins, principalement à moudre, et ne présentent pas d'inventions, mais des moulins existants. Le premier de ces trois tomes est en effet assez proche de la démarche de Leupold, et sans doute plus précis encore. Sans revenir sur les bases de la statique et des définitions préalables, il vise d'abord et avant tout à fournir au lecteur un guide, voire un manuel, pour construire un moulin. Des tables de dimensionnement sont présentées à côté de diverses méthodes pour choisir les lieux d'implantation. Il s'agit moins d'aider à trouver les solutions à certains problèmes qu'à dimensionner un moulin. Les deux tomes suivants sont plus proches du catalogue : celui de 1767 recense et décrit les types de moulins en vigueur dans l'Empire germanique, et celui de 1788 dans le reste de l'Europe. D'une certaine façon, si le travail accompli ici par J.M. Beyer n'a pas de lien direct avec l'auteur des *Theatri*, ni avec ses soutiens⁸⁶, il en respecte l'esprit.

Face à cette continuité du genre en Allemagne, nous observons une autre grande entreprise éditoriale, portée par les frères Pierre et Jan Schenck à Amsterdam. Le premier est éditeur et marchand d'estampes et de cartes géographiques, le second graveur sur cuivre. Cette fratrie amstellodamoise entreprend en 1734 de publier un *Theatrum machinarum universale*, et fait appel pour ce faire à plusieurs auteurs. Le premier tome est ainsi de Johann van Zyl, fabricant de moulin à Lexmond (près d'Utrecht), qui rédige les descriptions de plusieurs moulins à vent. En 1736 paraît le second livre, en deux tomes confiés respectivement à Tileman van der Horst et Jacob Polley. Il porte sur les écluses, ponts-tournants et toutes les constructions sur l'eau, très nombreuses aux Pays-Bas. Enfin, un troisième livre, publié en 1739, porte spécifiquement sur les coupes et les escaliers, se rapprochant ainsi de l'architecture. Il est aussi confié à Tileman van der Horst. La démarche est ici bien moins théorisée que dans les ouvrages de Leupold ou dans le premier tome de Beyer, et elle est beaucoup plus proche de celle de Zonca ou des derniers tomes de Leupold et de Beyer : il s'agit de rédiger des catalogues, avec des dessins et des descriptions précises de plusieurs constructions. Aucune invention mécanique, pas même dans les moulins, mais des plans de très grand format (80x40cm au minimum, parfois le double) des pièces nécessaires à la construction des moulins, écluses et autres. L'idée est de parfaire la

⁸⁶ Notons tout de même une dédicace adressée à Charles VI de Habsbourg par W. Deer dans le premier tome.

culture du lecteur en lui montrant non seulement les machines, mais aussi les plans et les différentes pièces, représenté à l'échelle.

Notons ici deux points intéressants. Le premier est que les trois premiers ouvrages sont traduits en français, puis en allemand par Jean-Rodolphe Faesch, lieutenant-colonel du corps des ingénieurs du roi de Pologne, soit du fils d'Auguste-le-fort, et donc aussi souverain de Saxe. L'appétence de la Saxe pour une littérature technique profitant à des ingénieurs formés par l'écrit trouve ici, après l'entreprise de Leupold – qui avait voyagé en Hollande –, une nouvelle confirmation. Plus encore, le fait que le même homme, sujet du comte de Saxe, traduise l'ouvrage en français témoigne d'une congruence entre France et Saxe quant à la formation des ingénieurs⁸⁷. Deuxième point : ces traductions ne sont pas éditées en grand in-folio, mais en petit in-8°, et sans les planches. Chose impensable pour les premiers théâtres de machines. L'éditeur semble aussi proposer ce même format en néerlandais⁸⁸. Cette diversification des formats n'est pas que le signe d'une volonté éditoriale de large diffusion, c'est aussi celui de la dissociation de la description et de l'image, et d'une prépondérance de la description sur une image devenue illustration. Ce changement est symptomatique d'une tension entre le beau et l'utile, pour reprendre une expression du XIX^e siècle, qui traverse non seulement l'édition des théâtres de machines, mais aussi, et surtout, leur réception par la société.

⁸⁷ Notons aussi que la fille d'Auguste III de Saxe, Marie-Josèphe, épousa le fils aîné de Louis XV. De cette union naquirent Louis XVI, Louis XVIII et Charles X. Ainsi, le rapprochement entre Saxe et France était aussi le fait d'alliances matrimoniales.

⁸⁸ L'école des Ponts et chaussées possède en effet un exemplaire du « théâtre de l'art de construire » de 1767, in-8°, en néerlandais. Voir Annexe 1 : « Liste des théâtres de machines », p. II.

Chapitre 3 : Posséder des livres de machines

De nos jours, les théâtres de machines sont des trésors souvent bien gardés dans les réserves des fonds anciens, parmi les livres les plus précieux des bibliothèques publiques. La qualité de leur impression et l'esthétique de leurs gravures a encouragé les conservateurs à mettre ces ouvrages à part, et les riches bibliophiles à les acquérir¹. Par ailleurs, ils ont fait l'objet de fac-simile depuis les années 1970, et furent parmi les premiers livres anciens numérisés à la fin des années 2000. Dépassant leur étude par les historiens des techniques ce succès contemporain témoigne de leur succès auprès amateurs de machines anciennes.

Il existe en réalité deux usages patrimoniaux des théâtres de machines : l'un est tourné vers l'objet-livre, rare et précieux ; l'autre se focalise sur le contenu, faisant entrer les inventions d'un Besson ou d'un Ramelli dans le patrimoine immatériel européen. Ces deux usages contemporains ont en réalité des racines plus anciennes que nous ne pourrions le penser de prime abord. Beaux livres autant que livres techniques, ils ont été achetés et collectionnés tant par des bibliophiles que par des amateurs de machines. En bibliothèque ou dans un cabinet de curiosités, leur usage, leur lecture diffère. Ce sont les histoires de ces deux usages patrimoniaux différents que nous souhaitons analyser dans ce chapitre. Aussi, après une brève étude quantitative générale, permettant de dresser à grands traits le rayonnement de cette littérature, présenterons-nous sa place dans les collections de bibliophiles des XVII^e et XVIII^e siècles, avant de voir leur influence sur les collections de modèles de machines.

Une littérature au rayonnement européen²

Il est toujours compliqué pour l'historien d'estimer quantitativement la réception d'un ouvrage. La production des livres en est un premier indice, mais il demeure

¹ Pour information, sur Abebooks.com, nous voyons qu'un Ramelli se vend de 25 à 45000 euros, un Böckler aux alentours de 20000 euros, un Besson se vend de 1500 à 10000 euros selon l'édition, un Zonca de 3 à 7000 euros. À titre de comparaison, une édition renaissance des *Essais* de Montaigne coûte aux alentours de 35-50000 euros.

² Il était difficile ici de faire une véritable étude sur la réception mondiale. Pourtant, elle a sans doute eu lieu pour certains auteurs, notamment Besson : son édition espagnole de 1602 se retrouve par exemple dans la bibliothèque de Melchior Perez de Soto, architecte mexicain qui fut « *maestro maior* » de la cathédrale de Mexico vers 1650.

extrêmement difficile de chiffrer la quantité d'exemplaires par éditions, notamment pour des livres qui contiennent de nombreuses illustrations, chers à produire. Marie-Anne Merland estime que la plupart des éditions de la période moderne connurent un tirage allant de 500 à 2000 exemplaires pour les plus vendus ; moins pour les livres illustrés, plus pour quelques rares bestsellers de petit formats³. Par ailleurs, certains tirages pouvaient mettre plusieurs années, parfois plusieurs dizaines d'années avant d'être écoulés. La succession des éditions peut s'avérer un meilleur indice de réussite éditoriale, car les libraires préfèrent relancer de nouvelles impressions si le livre se vend plutôt que risquer de grands tirages. Les dix éditions du *Théâtre* de Besson et ses nombreuses traductions ne trompent pas sur son succès, tout comme les trois éditions (de 1607, 1621, et 1656) du *Novo Teatro* de Zonca, témoignent d'une réception lente, mais continue.

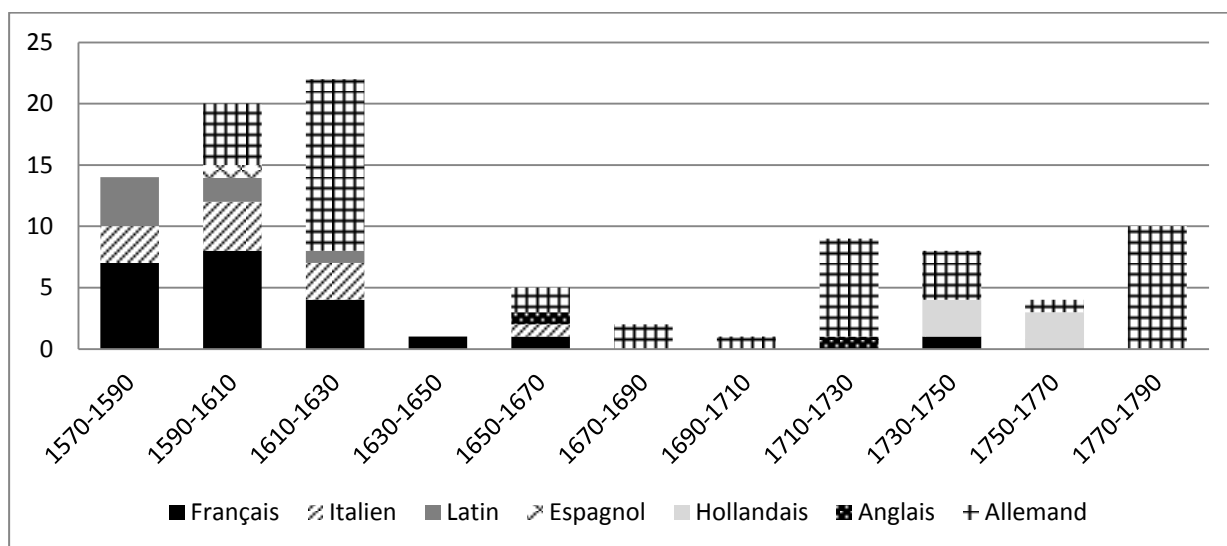


Tableau 3 : Nombre d'éditions par langue, triés chronologiquement⁴

Au total, du XVI^e au XVIII^e siècle, cette tradition littéraire totalise plus d'une soixantaine d'éditions, publiées dans six langues différentes. Étant donné le nombre de planches de cuivre, qui renchérit le coût de production, le fait que plusieurs auteurs

³ Marie-Anne MERLAND, article « Tirage », dans Pascal FOUCHE, Daniel PECHOIN, Philippe SCHUWER (dir.), *Dictionnaire encyclopédique du livre*, Paris, éd. du Cercle de la Librairie, 2011, tome 3, p. 844.

⁴ Nous avons choisi ici de compter tous les titres, chaque série (Zeising, Leupold, Van Zyl, Van Horst) possédant plusieurs titres, cela les "avantage". Ce choix nous semblait cependant nécessaire pour rendre compte d'une autre façon de publier des théâtres de machines. Par ailleurs, il n'y a guère que pour la tranche 1610-1630 que la série de Zeising pose question, et après vérification, nous pouvons affirmer que cela ne modifie pas outre mesure les proportions de langues de production. Un choix inverse a été fait pour les graphiques "camembert", plus loin.

prétendent avoir réalisés les éditions à leur frais dans des éditions ayant sans doute eu de très faibles tirages, et que rares sont les théâtres ayant fait l'objet d'une véritable politique éditoriale, nous pouvons estimer que le tirage moyen d'une édition de théâtre de machines est de 200 à 250 exemplaires (plus pour un Besson, moins pour l'édition unique du livre de Jean Errard). Au total, tous titres confondus, 10 à 15 000 exemplaires⁵ auraient été en circulation pendant toute la période moderne, dont 1/3 en français, ¼ en allemand, et 1/5 italien, ce qui permet de délimiter les principales aires de lecture des théâtres de machines.

Ce premier graphique montre que la plus grande production de théâtres de machines a lieu entre 1570 et 1630. Leur nombre décroît dans les siècles suivants, et seuls quelques rares auteurs (Böckler, Leupold, Van Zyl, Van Horst) continuent de rédiger ce type de livre. Deuxième constat : apparue sous la plume d'ingénieurs français, cette tradition littéraire demeure dominée par la langue française jusqu'au tournant des XVI^e et XVII^e siècles. Un glissement s'opère alors, le nombre de traductions allemandes augmente avant de voir les auteurs du Saint-Empire s'emparer entièrement de cette tradition littéraire. Le creux du XVII^e siècle (1630-1724) s'explique d'ailleurs en grande partie par la guerre de trente ans (1618-1648) qui marque un ralentissement de l'activité allemande, jusque dans l'imprimerie. Quelques rééditions augmentées, comme la *Nouvelle invention avec quelques machines* d'Isaac de Caus⁶, ou le *Theatrum Machinarum Novum* de Georg Andreas Böckler⁷ évitent à la tradition de tomber en complète désuétude. Par la suite, et pour tout le XVIII^e siècle, le *leadership* germanique dans la production de théâtres de machines sera concurrencé pendant quelques décennies du XVIII^e siècle par l'offensive éditoriale de Pierre Schenck, mais sans faire d'ombre à la réussite des *Theatri* de Leupold⁸.

⁵ Pour comparaison, la bible de Gutenberg "à 42 lignes" a été tirée à 180 exemplaires au milieu du XV^e siècle, et l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, véritable best-seller du XVIII^e siècle a été tirée à elle seule à plus de 4000 exemplaires pour la première édition et à 24 000 exemplaires, toutes éditions confondues (d'après l'article « Tirage (imprimerie) » et « Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des arts et métiers » de Wikipédia).

⁶ Les éditions d'Isaac de Caus doivent beaucoup à son parent (41 pages sur 59, soit 70% de l'ouvrage), et peuvent être considérées comme des rééditions augmentées, ou un moyen de mettre en avant une de ses inventions en l'insérant dans un ouvrage plus connu. Mais à l'inverse de la relation Strada/Böckler, le pari éditorial d'Isaac de Caus semble avoir eu un succès plus mitigé.

⁷ Rappelons que le livre de Böckler est une réimpression des planches des *Desseins artificieux* de Strada.

⁸ Notons aussi que le genre littéraire prend dans le monde hispanophone au moment où s'instaure les écoles d'ingénieurs, à la fin du XVIII^e siècle. Outre le travail d'Agustín Bétancourt, notons l'ouvrage de Miguel Geronimo Suarez, *Colección general de maquinas*, Madrid, chez Pedro Martin, 1784

Par ailleurs, le fait que seul un dixième des éditions de théâtres de machines soit en latin montre que cette tradition n'est pas principalement destinée aux savants ; constat d'autant plus flagrant qu'en réalité, six des sept éditions latines sont bilingues (trois éditions français/latin du livre de Besson, et trois éditions multilingues des *Machinae Novae* de Fausto Veranzio). Le choix de la langue vernaculaire traduit ici le désir des auteurs de diffuser largement ce savoir sur les machines, quitte à réaliser des traductions ou des éditions multilingues. Gardons-nous cependant de penser que l'usage de la langue vernaculaire témoigne d'une diffusion au seul cercle national. L'italien est parlé dans plusieurs villes du royaume de France au XVI^e siècle ; et, à partir du XVII^e siècle, l'usage du français est largement répandu chez les élites européennes, notamment allemandes et russes ; l'allemand, quant à lui est pratiqué dans tout l'Est de l'Europe ; et l'espagnol est non seulement la langue du royaume d'Espagne, mais surtout celle de toutes ses colonies. Il est donc nécessaire de compléter ce bref aperçu éditorial par une recherche sur la diffusion des théâtres de machines.

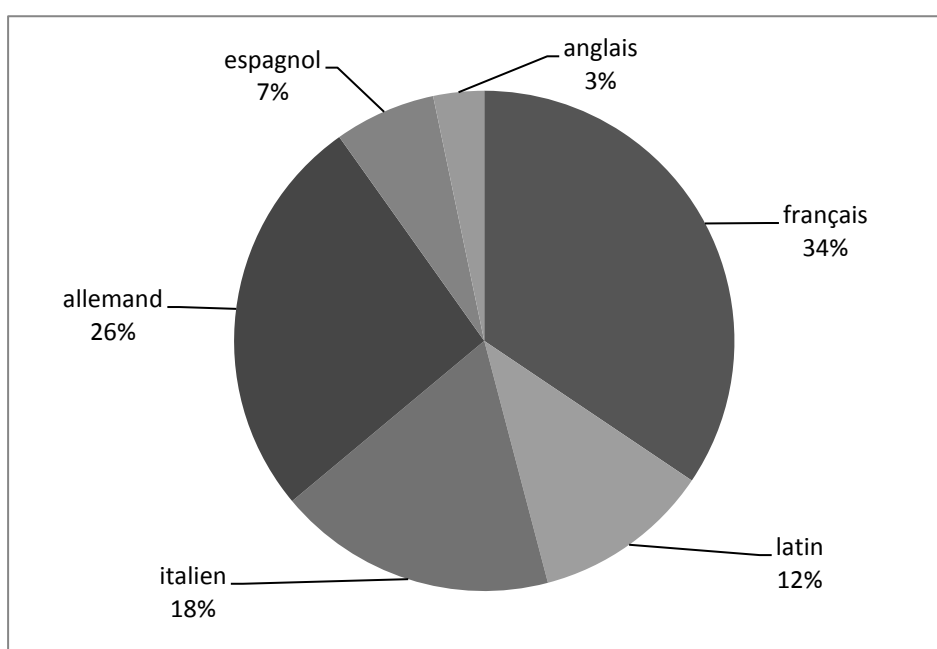


Tableau 4 : Éditions de théâtres de machines, par langue (hors séries : Zeising, Leupold, Schenck)⁹

⁹ Par la suite, nous présentons des graphiques qui comptent le nombre d'exemplaires dans chaque bibliothèque étatique européenne. Les séries, principalement allemandes et hollandaises, voient le nombre d'exemplaires conservés multipliés du fait d'un plus grand nombre de titre pour un même "théâtre", écrasant ainsi les données et

Afin de donner un premier aperçu de la réception, nous avons ici choisi d'utiliser le méta-moteur de recherche "European library"¹⁰, qui interroge quarante bibliothèques nationales européennes et quelques grandes bibliothèques régionales de taille similaire¹¹. En triant les livres selon leurs auteurs, nous avons donc pu obtenir le Tableau 5 : ci-dessous. La taille des colonnes correspond au nombre total d'exemplaires trouvés dans les bibliothèques du pays, et chaque motif correspond à un auteur de théâtres de machines, toutes éditions confondues.

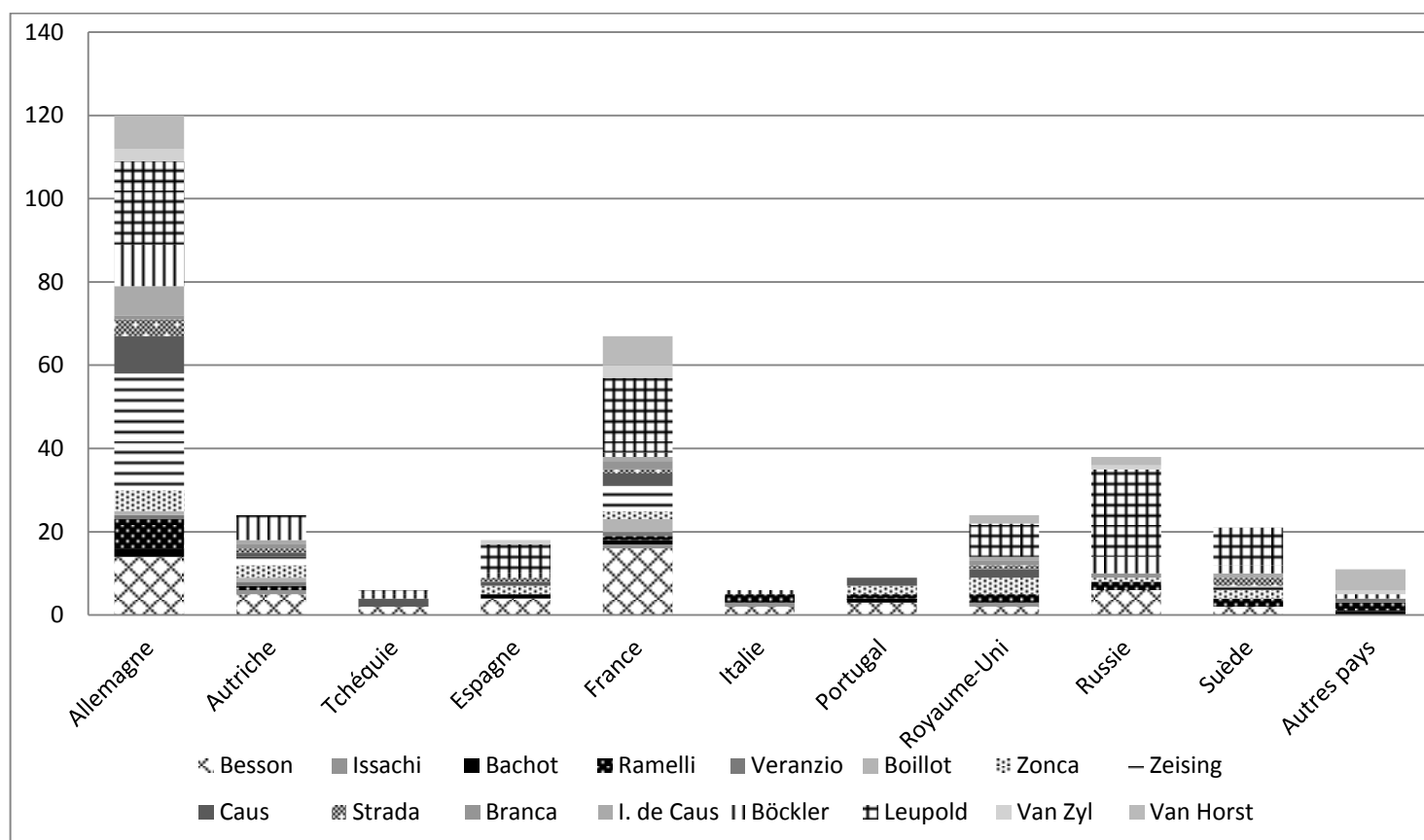


Tableau 5 : Total des notices de théâtres de machines sur le site "European Library"¹²

rendant leur lecture malaisé. Nous les avons donc retiré de tous les graphiques de type "camembert", ceux comptant des exemplaires et ceux comptant des éditions, par souci de cohérence. Le résultat réel donnerait une plus grande proportion aux ouvrages allemands et verraient apparaître les ouvrages hollandais, sans changer pour autant la disposition générale des éditions.

¹⁰ The European Library, <http://www.theeuropeanlibrary.org/tel4/>, consulté le 8 mai 2013.

¹¹ Notons surtout la bibliothèque du Land de Bavière (en plus de la bibliothèque fédérale de Berlin), la Wellcome library de Londres (à côté de la British Library), la bibliothèque nationale centrale de Florence (en plus de la bibliothèque nationale de Rome), et la bibliothèque de l'université de Madrid qui complète la bibliothèque nationale espagnole. Là où seule la bibliothèque nationale de France est mentionnée, cet éclatement dans divers pays est imputable à l'histoire de chacun des pays et ne nous semble pas tronquer outre mesure les résultats.

¹² Autres pays concernés par au moins un exemplaire présent dans leurs collections : Belgique, Croatie, Grèce, Hongrie, Irlande, Pays-Bas, Pologne, Slovaquie, Suisse. Tous les graphiques comptant des exemplaires sont réalisés

L'outil utilisé ne permet pas de rendre compte aussi fidèlement que nous le souhaiterions de la diffusion d'une œuvre dans un pays. L'âge des bibliothèques nationales ou les effets de centralisation (fort pour la France, la Bavière ou la Russie, moindre pour l'Italie) nous poussent à une certaine prudence dans la lecture des résultats. D'autant que ces différentes bibliothèques n'ont pas acquis ces ouvrages à leur parution, ou alors très rarement¹³. Les résultats affichés ici sont donc à interpréter comme un cliché de la dispersion des théâtres de machines de nos jours, après plusieurs siècles d'échanges. Ainsi, les collections de théâtres de machines de la Russie ont probablement été constituées au XVIII^e siècle, et guère avant.

À première vue, ce graphique correspond à celui des éditions : l'Allemagne et la France dominant largement le paysage de conservation actuelle des théâtres de machines, et semblent avoir été de grands lieux de réception de cette littérature. L'Allemagne se montre particulièrement bien dotée, et si nous ajoutons aux collections allemandes, principalement bavaroises¹⁴, les bibliothèques d'Autriche et de République Tchèque, les bibliothèques du Saint-Empire (largement germanophones) réunissent une large majorité des théâtres de machines existants. S'ajoutant au nombre de traductions en allemand des livres d'abord écrits dans une autre langue (Besson, Ramelli, Boillot, de Caus), et la domination des auteurs allemands à partir du XVII^e siècle, ces résultats reflètent l'intérêt indéniable de l'Europe germanophone pour cette littérature, dont elle n'est pourtant pas le berceau.

La principale surprise vient sans doute *a contrario*, de la faible quantité de théâtres de machines conservés à Florence ou Rome, par rapport au nombre d'éditions et d'auteurs venus de ce pays. Rappelons ici les faiblesses de l'outil, notamment en ce qui concerne les bibliothèques de l'Italie du Nord : les collections des bibliothèques de Venise et Milan ne sont pas répertoriées, de même que les bibliothèques privées, encore très bien dotées en Italie. Mais ne forçons pas non plus le trait à l'inverse, et complétons ce résultat en le comparant au nombre de notices dans l'*European Library*, triées par langue (Tableau 6 : ci-dessous)

à partir de cette même recherche sur « The European Library », *op. cit.*

¹³ Cependant, les livres techniques anciens font rarement l'objet de politiques d'acquisition cohérentes. La présence d'un ouvrage technique dans telle ou telle bibliothèque résulte le plus souvent de dons issus des pays dans lesquels se trouvent ces bibliothèques, ce qui fiabilise ces résultats « nationaux ».

¹⁴ La majorité des résultats positifs provenaient de la bibliothèque du Land de Bavière.

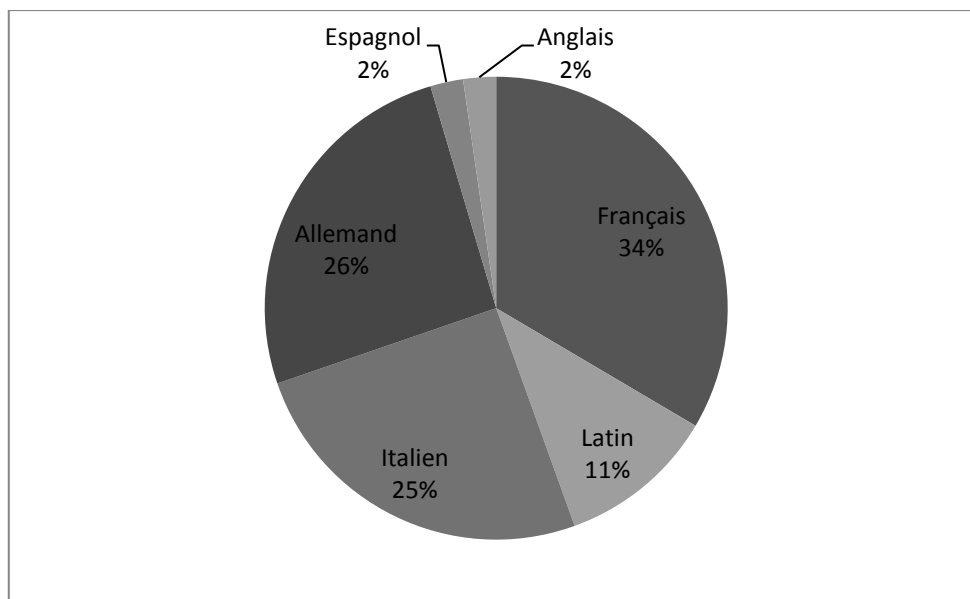


Tableau 6 : Nombre d'exemplaires¹⁵ par langue (hors séries : Zeising, Leupold, Schenck)

Ce que nous montre ce graphique, c'est que la faible représentation des théâtres de machines dans les collections italiennes ne signifie pas que les éditions italiennes ne sont pas répandues – au contraire –, mais simplement qu'elles ne sont pas forcément actuellement conservées en Italie. Les éditions italiennes sont en effet très présentes en France et en Allemagne. Rien de surprenant dans ce constat : les libraires d'Italie du Nord ayant un large réseau dans le Sud-est de la France et le Sud de l'Allemagne, les livres, même en italien, ont pu être vendus dans ces pays autant, voire plus qu'en Italie.

La France, quant à elle, perd dès les débuts du XVII^e siècle la domination de la création de cette littérature au profit d'auteurs allemands, mais marque un intérêt continu pour cette littérature quelque soit la langue de l'auteur. Le nombre – plus élevé qu'ailleurs – des exemplaires conservés issus des séries de théâtres d'Heinrich Zeising, de Jacob Leupold ou de Pierre Schenck (éditeur de Van Horst et Van Zyl) en témoigne.

Il reste encore plusieurs autres pays, qui se sont intéressés à cette littérature, malgré l'absence d'auteurs notables dans ce domaine : l'Espagne, la Suède, le Royaume-Uni, et bien sûr la Russie. Concernant cette dernière, l'importance des collections s'explique sans doute par l'intérêt de Pierre 1^{er} dit le Grand pour l'industrie. Fondateur de Saint-Pétersbourg et premier empereur de Russie, il est connu pour avoir

¹⁵ Nous prenons pour base du nombre d'exemplaires, le nombre de notices disponibles sur *European Library*.

importé d'Europe occidentale savoirs, savants et artisans, ainsi qu'une grande collection de livres scientifiques et techniques. Sans doute la dotation des collections moscovites en théâtres de machines doit-elle beaucoup à ce premier monarque. La série des *Theatri* de Leupold, en revanche, n'a pas pu être acquise par Pierre-le-Grand. C'est sans doute ses successeurs, et notamment sa fille Élisabeth 1^{ère}, mécène reconnue, qui a pu compléter la collection. Une logique similaire d'émergence du pouvoir monarchique et de développement de l'industrie explique la dotation de la Suède en livres techniques et en théâtres de machines.

Si ces premiers résultats démontrent le rayonnement européen de cette tradition littéraire, avec une très large diffusion dans le monde germanique, elle ne permet pas de rendre compte du succès de chaque auteur en particulier. En effet, les théâtres de machines ne forment pas un bloc de réception homogène. Un regard sur chaque politique éditoriale, complété par des recherches quantitatives par auteur s'avère donc nécessaire.

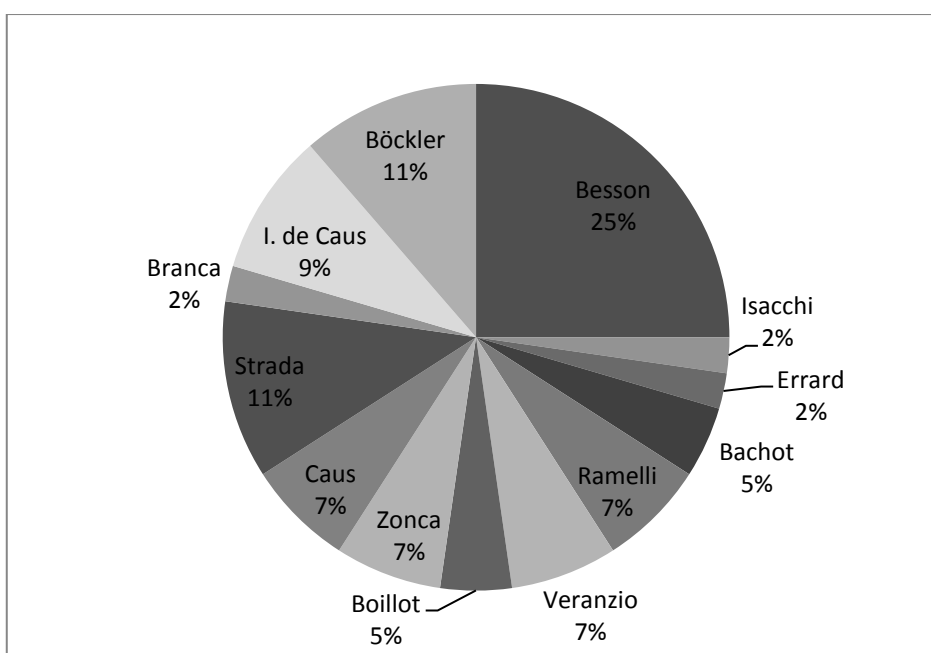


Tableau 7 : Nombre d'éditions par auteur (hors séries : Zeising, Leupold, Schenck)

Premier constat majeur, le théâtre de Jacques Besson, fondateur de la tradition des théâtres de machines domine largement le paysage éditorial de ce genre littéraire, tant par son nombre d'éditions (ci-dessus) que par son succès de diffusion (ci-dessous).

Fruit d'une véritable politique éditoriale, qui a lancé le succès de tout le genre¹⁶, le *Théâtre des instruments* de Jacques Besson a sans doute été le plus diffusé et le plus connu des théâtres de machines, et ce, dès ces débuts. En effet, dans la Bibliothèque d'Antoine du Verdier, qui recense tous les livres publiés en français des débuts de l'imprimerie à 1584, seul l'édition de 1578 du *Théâtre* de Jacques Besson est référencé, l'édition de 1572 et le *Premier livre des instruments* de Jean Errard ayant eu des éditions trop peu diffusées¹⁷.

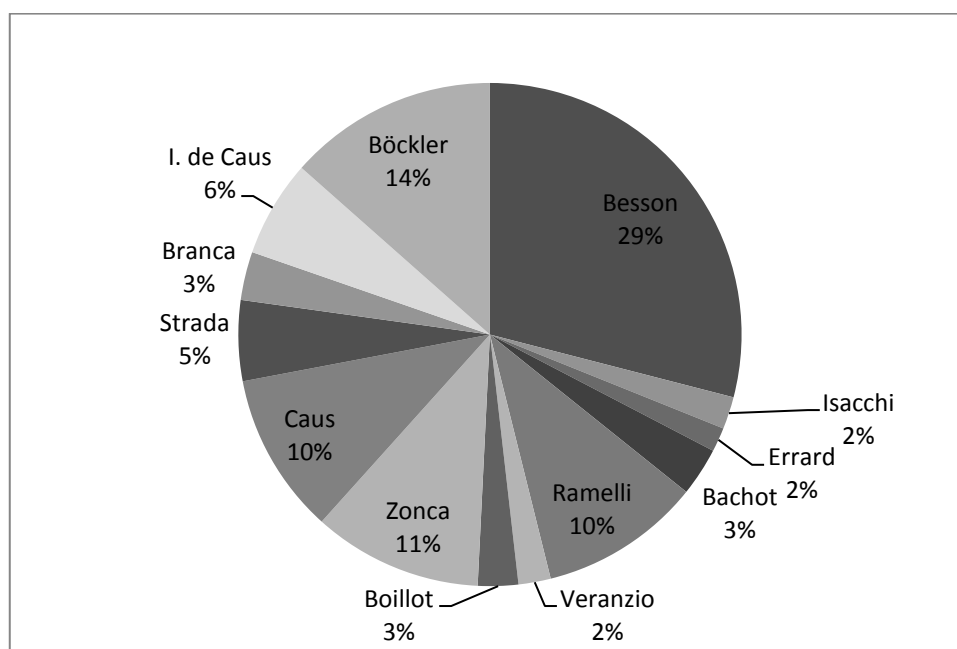


Tableau 8 : Nombre d'exemplaires par auteurs (hors séries : Zeising, Leupold, Schenck)

À ce succès répond, à l'autre extrémité chronologique, celui de Georg Andreas Böckler et son *Theatrum Machinarum Novum* : trois éditions resserrées en une dizaine d'années, et deux autres qui font courir le succès de ce livre jusqu'au début du XVIII^e siècle (1703 pour la dernière édition). La bonne santé éditoriale de ce titre tient sans doute à la notoriété de son auteur en tant qu'architecte (auteur du très connu *Architectura Curiosa*). Il est le signe d'une domination aboutie des éditeurs

¹⁶ Sur l'histoire éditoriale du livre de Besson, lire Benjamin RAVIER, « Théâtres de machines... », *op. cit.* p. 38-46.

¹⁷ *La bibliothèque d'Antoine du Verdier, seigneur de Vauprivas, contenant le catalogue de tous ceux qui ont écrit, ou traduit en Français et autres dialectes de ce Royaume*, bibliothèque municipale de Lyon, cote 157 470. À « FR » : « François Beroald a interpreté tout en latin qu'en François les figures du Theatre de Jacques Besson docteur mathematicien [impr. A Lyon f°. par Bath. Vincent, 1578 », et à « IA » : « Jacques Besson Dauphinois professeur en Mathematique en la ville d'Orléans a écrit [...] Le theatre des instruments de Mathematiques [impr. A Lyon f°. par Barthelemy Vincent 1578] ».

germaniques sur ce genre littéraire. Notons d'ailleurs que Böckler agit plus ici comme un éditeur que comme un auteur à part entière, puisqu'il reprend en fait les planches des *Desseins artificieux* de Jacob Strada, à l'esthétique soignée desquelles il doit sans doute une part de son succès. Un succès d'autant plus remarquable que les tentatives d'Octave Strada pour publier ces mêmes planches une première fois s'étaient avérées un échec éditorial, au regard du nombre d'éditions pour le nombre d'exemplaires encore conservés.

Cet échec et la multitude de petites éditions sans lendemain nous rappellent que la publication d'un théâtre de machines comporte un risque éditorial non négligeable. S'il est possible que les théâtres de Jean Errard, de Giovanni Battista Isacchi, ou d'Ambroise Bachot doivent leur confidentialité au choix d'utiliser ces ouvrages à des fins carriéristes, tel n'est pas le cas d'auteurs comme Fausto Veranzio, Joseph Boillot, Jacob Strada ou Giovanni Branca, dont la quasi-confidentialité des œuvres ne saurait s'expliquer par un choix de carrière, ces auteurs n'étant pas des ingénieurs. Certains théâtres de machines ont donc vraisemblablement eu un succès plus limité que celui escompté par leurs auteurs.

A contrario, certains théâtres de machines s'en sont plutôt bien sortis. C'est notamment le cas de ceux de Ramelli, de Zonca et de Salomon de Caus, dont les éditions, étalées sur plusieurs dizaines d'années, ont connu un certain succès. Par le luxe de son ouvrage, l'appui du roi de France, la notoriété de son auteur en France et en Italie, l'ouvrage de Ramelli a eu un grand succès, malgré le prix élevé auquel il devait sans doute être vendu. Le fait qu'il soit édité et diffusé aux frais de l'auteur est peut-être l'indice que ce livre doit son succès à un certain effet de réseau. Toujours est-il que les *Diverses et artificieuses machines* ont sans doute permis de redynamiser l'ensemble de la tradition après le succès du livre de Jacques Besson. Notons aussi que le succès du Ramelli, comme du livre de Salomon de Caus, deux éminents ingénieurs, doit aussi à leurs traductions allemandes au début du XVII^e siècle (1615 pour Caus, 1620 pour Ramelli), qui complètent les ventes dans le monde germanique.

La réussite du livre de Vittorio Zonca, quant à elle, est sans doute due au fait que les éditions aient été remis aux mains d'un éditeur compétent (Pietro Bertelli). Quant à celle de Salomon de Caus, outre l'édition allemande, le succès est probablement la

conséquence de la renommée de l'auteur et de l'extrême nouveauté de son livre, qui renouvelle l'approche des théâtres de machines par l'usage d'un discours plus savant, tout en parvenant à garder un fort parti pris esthétique dans un « livre » séparée.

En bref, trois facteurs semblent expliquer le succès des théâtres de machines : la notoriété de l'auteur, la présence d'une traduction allemande, et surtout le soin de l'édition laissé à un éditeur. Les ouvrages édités aux frais des auteurs ayant été bien moins diffusés que les autres, à la seule exception notable de Ramelli.

Pour compléter cette brève analyse de la réception quantitative des théâtres de machines, il nous faut nous pencher sur les séries, qu'il était difficile d'inclure dans les mêmes graphiques que les autres, le nombre de titres multipliant les "éditions" et les exemplaires artificiellement. Au vue des résultats fournis par l'interrogation de l'*European Library*, nous voyons qu'il est rare qu'une bibliothèque possède une collection dans son entier, celle de Zeising étant peut-être, du fait de sa modestie et de sa cohérence, la plus suivie, d'autant que les notices de l'*European Library* englobent parfois les différents tomes en seul titre. Les rééditions des *Theatri* de Zeising, et leur mention par Leupold¹⁸, témoignent d'une réussite éditoriale indéniable. Celle-ci doit sans doute au fait que Zeising sélectionne, trie et présente au monde germanique, qu'on sait maintenant amateur, les principes de la mécanique et différentes machines issus des théâtres de machines antérieurs, et ce, à moindre prix, puisqu'il choisit des impressions in-4°.

Concernant Leupold et les théâtres hollandais de Pierre Schenck, le constat est différent. Leur parution marque l'entrée des théâtres de machines dans le corpus de la mécanique industrielle. Le lecteur ne semble d'ailleurs pas s'y tromper, car la réception semble bien différente d'un tome à l'autre. Les premières éditions des *Theatri* de Jacob Leupold sont de loin les plus diffusées de toute cette nouvelle littérature, et parmi cette première série, les ouvrages théoriques sont préférés. Ainsi, le *Theatrum Machinarum Generale* (théorie statique et moteurs), l'*Hydrotechnicarum* (théorie hydraulique) sont deux fois plus présents dans les bibliothèques étatiques européennes que les tomes sur les machines hydrauliques. Le cinquième tome, sur les machines élévatoires, et le tome sept sur les ponts, profitent aussi d'une assez bonne diffusion semble-t-il. Quant aux

¹⁸ Voir « Les *Theatri* de Leupold et les théâtres de machines », p. 315.

Theatri édités par Pierre Schenck, c'est le volume de Tileman van der Horst sur les écluses et la préparation du terrain pour les travaux hydrauliques qui obtint le plus de succès. Témoin ou facteur, la traduction française de ce seul volume lui assure une diffusion internationale (notamment dans la Russie francophile d'Élisabeth I^{ère}) à laquelle il n'aurait pu prétendre avec d'uniques éditions néerlandaises, malgré la qualité des gravures.

Enfin, la qualité des impressions, l'âge des reliures et l'état général des exemplaires que nous avons pu consulter nous fournit plusieurs indices sur la qualité donnée à chaque édition, et le soin apporté à sa conservation, tout au long des âges. Ainsi, la qualité médiocre de l'impression des planches de certains exemplaires des éditions de Jacques Chouët (1594, 1595, 1596, 1602), témoigne d'une usure des planches de cuivre, confirmant les importants tirages du livre de Besson. L'éditeur a même dû par endroit, souligner certains traits par de nouveaux coups de burins¹⁹. De plus, le papier utilisé est beaucoup plus fin et bien moins solide, attestant d'une volonté d'abaisser le prix de production de ce vrai succès littéraire. Aujourd'hui encore, la plupart des éditions tardives du Besson sont reliées de carton, parfois avec du parchemin, les possesseurs successifs ne considérant pas cet ouvrage comme méritant une reliure de meilleure qualité.

À l'inverse, l'absence d'usure particulière sur les planches utilisées par Böckler montre que les éditions des *Desseins artificieux* réalisées par Octave Strada avaient un assez faible tirage²⁰. Par ailleurs, la plupart des reliures des exemplaires observés du Böckler sont en assez bon état, reliés en parchemin ou en cuir, et témoignent d'un soin particulier apporté à ce livre. Tel est le cas de la plupart des théâtres de machines. L'usage généralisé de frontispices gravés, la bichromie fréquente des titres (rouges et noirs, surtout pour les éditions allemandes), et le soin apporté à l'impression, avec plusieurs ornements typographiques, et à l'édition, avec des marges conséquentes et

¹⁹ À la fin de la Renaissance, les planches sur cuivres n'étaient pas gravées à l'eau forte, mais encore au burin. La profondeur du creux définissant la quantité d'encre (et donc le contraste) des traits. Passées et repassées sous presse, les planches de cuivre s'écrasent et la profondeur des creux diminue, abaissant le contraste et nuisant ainsi au confort de lecture. Sur de telles planches, les regravures sont très visibles par des traits beaucoup plus noirs et marqués que les autres.

²⁰ Il est certain que les planches du Böckler ne sont pas des copies de celles de Strada, mais bien exactement les mêmes. Böckler a même été amené à gratter la planche pour faire imprimer un autre numéro de figure, correspondant un ordre différent de l'édition de Strada.

des annotations, montrent qu'il s'agissait pour la plupart des contemporains de livres chers, au dessus de la moyenne des autres livres, très certainement (la quantité des gravures est d'ailleurs un autre indice). Certains sont plus simples, comme le *Livre premier des instruments* de Jean Errard, d'autres plus soignés comme *Les Raisons des forces mouvantes* de Salomon de Caus ; mais tous sont de bonne qualité, y compris les *Theatri* d'Heinrich Zeising (bichromes, avec ornements et frontispices), malgré le désir affiché de produire des livres moins chers.

D'une qualité encore supérieure, se trouvent les différentes éditions du Ramelli, tant celles franco-italiennes de 1588 et 1601, que l'édition allemande de 1620. Celle-ci, à l'inverse de celle de Böckler, est constituée de copies des planches originales, regravées pour l'occasion – et donc un nouvel investissement –, comme en attestent certains détails du décor ou des personnages. Quelque soit l'édition, ce livre profite toujours d'une très bonne qualité d'impression, d'un beau noir, avec des couillards venant entourer comme un épais filet les textes et les images. Les possesseurs ne semblent pas s'y tromper, car tous les exemplaires que nous avons pu observer sont reliés en cuir, parfois en maroquin, avec une couverture bien rigide. Bref, le *Diverse et artificiose machine* du capitaine Agostino Ramelli est un livre luxueux.

Il y a donc une différence de traitement entre le Besson, les autres théâtres de machines, et l'imposant Ramelli. Cette différence de traitement existe non seulement en amont, dans l'édition et l'impression, mais aussi en aval, dans l'entretien apporté à ces livres. Le nombre de ces ouvrages répertoriés dans les collections publiques montre que leurs possesseurs en prenaient globalement soin, puisqu'ils nous sont parvenus. Il reste désormais à s'interroger plus avant sur les raisons qui ont poussés certaines personnes à vouloir posséder ces livres.

Les théâtres de machines et la bibliophilie

Dès la fin du XVI^e siècle, les théâtres de machines connaissent un certain succès auprès de particuliers intéressés par les mécaniques. Ainsi, l'architecte et ingénieur du duc de Wurtemberg, Heinrich Schickhardt, possède dans sa collection personnelle deux exemplaires du livre de Jacques Besson (1578 et édition allemande de 1595), et

un exemplaire du livre d'Agostino Ramelli²¹. Ainsi encore, la bibliothèque de la famille d'Orange-Nassau, très influente aux Pays-bas espagnols, possédait en 1686 deux Besson, un Böckler, un Boillot, un de Caus, un Ramelli, un Strada²². Le public des puissants, cible des auteurs de théâtres de machines semble donc atteint. Cependant, la tradition a aussi du succès auprès des bibliophiles.

Les critères principaux de la collection : curiosité et rareté

Dès avant l'imprimerie, la possession d'une bibliothèque privée était une affaire tant de goût que de prestige, et le livre était aussi bien collectionné pour son contenu que pour son aspect esthétique. En témoigne, parmi d'autres exemples, la célèbre collection du duc Jean 1^{er} de Berry au début du XV^e siècle. L'imprimerie augmente de façon significative le nombre de livres en circulation. La collection de livres s'en trouve renforcée et voit arriver de nouveaux collectionneurs, parmi lesquels nous pourrions citer Jean Grolier de Servières, « prince des bibliophiles » et grand amateur de reliures luxueuses du XVI^e siècle, Mazarin au XVII^e siècle, et le lyonnais Pierre Adamoli au XVIII^e siècle²³.

Les théâtres de machines, par la qualité et le nombre de belles mises en scènes qu'ils proposent, sont sans aucun doute des objets de choix pour ces amateurs de beaux-livres. Cependant, ne croyons pas que toute collection de livres s'appuie sur un goût esthétique. Au contraire oppose-t-on alors les bibliomanes aux bibliophiles. Le premier est un nom péjoratif qui désigne une personne atteinte de "bibliomanie" : « passion, fureur d'avoir des livres [...] maladie de ce siècle » dit le Trévoux²⁴. Le bibliomane est celui qui ne cherche dans la collection que la collection, sans ordre et sans choix. Il est entièrement livré à ce qui est considéré comme une passion humaine déviante, qui ruine vainement son propriétaire. Le bibliophile, au contraire, est amateur de livres, et davantage pour le savoir qu'il contient que pour l'objet, il ne collectionne pas

²¹ André BOUVARD, « Heinrich Schickhardt, « Liste de mes livres. 1631 » : l'inventaire autographe d'un architecte des ducs de Wurtemberg », *Les cahiers de RECITS*, 2008, n° 6, pp. 31-55.

²² A.D. DENTING et J.T.C. DENTING-KUIJPERS (dirs.), *The seventeenth-century Orange-Nassau library, by Anthony Smets in 1686*, Utrecht, 1993. Voir les numéros 2409, 2416, 2456, 2724, 2417, 2437, 2438, 2503 du catalogue.

²³ La bibliothèque et les activités du lyonnais Pierre Adamoli ont été très largement étudiées dans la thèse de Yann Sordet, *L'amour des livres au siècle des Lumières. Pierre Adamoli et ses collections*, mémoires et documents de l'école des chartes, Paris, 2001.

²⁴ Article « bibliomanie » dans *Dictionnaire universel françois et latin dit Dictionnaire de Trévoux*, Nancy, Pierre Antoine, 1740. Disponible sur *Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales*, <http://www.cnrtl.fr/>, consulté le 10 mai 2013.

obligatoirement les livres comme le fait le bibliomane, il prend aussi plaisir à les consulter.

Cette distinction permet de cristalliser les nombreuses critiques que s'attirent plusieurs amateurs de livres. Dans un contexte intellectuel humaniste, le fait que certaines personnes s'intéressent davantage à l'aspect matériel du livre qu'au savoir qui y est inscrit, est vu comme une "manie" perverse, une transgression, qui, faisant du livre un objet de collection, le détourne de son "véritable" usage. Celles-ci se font plus acerbes encore au cours du XVII^e siècle, de façon concomitante à la réorganisation des cabinets de curiosités selon des critères plus "rationnels", au fur et à mesure que le nouvel esprit scientifique se développe.

Le premier manuel de bibliothéconomie, *l'Avis pour dresser une bibliothèque* de Gabriel Naudé²⁵, se fait ainsi l'écho de ces préoccupations. L'auteur y prône le développement de bibliothèques universelles et publiques, susceptibles de répondre aux besoins et désirs de nombreux lecteurs, et sa vie témoigne d'une volonté de détourner les bibliomanes de leur goût pour le faste. Il oppose à ceux « qui se persuadent (n'estimans les Livres qu'au prix qu'ils ont cousté) que l'on ne peut rien avoir de bon s'il n'est bien cher », une curiosité bien ordonnée. Celle-ci donne même son nom au premier chapitre de l'*Avis* : « On doit estre curieux de dresser des Bibliothèques & pourquoy ». Qu'entend-t-il exactement par « être curieux » ? La curiosité ne désigne déjà plus ici un objet, comme il le fait des "curiosités" de cabinets, mais une disposition de certains esprits, qui veulent apprendre, savoir davantage, connaître ce qui n'est pas connu. « Est curieux, nous dit le dictionnaire de l'académie²⁶, qui a beaucoup d'envie & de soin d'apprendre, de voir, de posseder des choses nouvelles, rares, excelentes, etc. »²⁷. La curiosité est une soif de connaissances, et c'est celle-ci qui doit guider le véritable bibliophile humaniste, à « la recherche des bons livres, & de ce qui est le plus

²⁵ Gabriel NAUDE, *Advis pour dresser une bibliothèque présenté à Mgr. le Président de Mesme*, Paris, Targa, 1627. Gabriel Naudé (1600-1653) entre au service du président de Paris Henri de Mesme, comme bibliothécaire de son imposante bibliothèque, lors de ses études de médecine. Sa renommée en tant que bibliothécaire l'amena à entrer au service de Richelieu, puis de Mazarin, portant cette dernière bibliothèque à 40 000 volumes et lui donnant le prestige qu'elle a toujours aujourd'hui.

²⁶ *Dictionnaire de l'académie française - 1ère édition*, Paris, Coignard, 1694. Disponible sur « CNRTL », *op. cit.*

²⁷ Cette définition est en fait assez récente. En effet, dérivé de *cura*, le mot latin *curiosus* désigne quelqu'un qui prend soin de quelqu'un ou quelque chose. Au Moyen-âge, de soin, le mot curieux en vient à désigner un intérêt pour quelque chose. L'aspect de possession de l'adjectif apparaît au XVI^e siècle et suppose une possession particulièrement attentive. Le changement de définition qui s'opère au XVII^e siècle annonce le développement, au siècle suivant de la curiosité scientifique.

curieux dans chacune des [bibliothèques des gens avisés] »²⁸. Des bons livres, c'est-à-dire ceux des auteurs reconnus, si possible commentés. Des livres curieux, « c'est-à dire rares, ou contenant bien des choses singulières que peu d'hommes sçavent » nous précise le dictionnaire de Trévoux au début du XVIII^e siècle²⁹.

Nous le voyons dans ces définitions, l'adjectif « rare » revient aussi souvent que celui de curieux, mais il est bien plus ambigu quant à son rapport au savoir, et introduit dans la bibliophilie bien réglée les penchants de la bibliomanie. Appliqué aux livres, l'adjectif se développe surtout au XVIII^e, dans un contexte d'essor de la bibliomanie. Non que celle-ci ne cesse d'être critiquée, mais nous observons une multiplication des bibliothèques privées, même de petite importance, et surtout l'organisation d'un marché du livre d'occasion et du livre "rare". La rareté d'un livre tel qu'on l'entend alors ne désigne pas uniquement ce qui est difficile à trouver, car n'étant disponible qu'en peu d'exemplaire, nous explique Yann Sordet après avoir disséqué son usage sous la plume de Pierre Adamoli³⁰. Au XVIII^e siècle, le sens est plus large, et désigne tout ce qui est singulier. Cela peut concerner des qualités intrinsèques au livre, comme la description et/ou le commentaire d'œuvres très singulières, ou vainement recherchées dans d'autres livres, ou encore comme l'usage d'une police soignée ou d'ornements singuliers, dans telle édition particulière ; cela peut aussi, et surtout, désigner des qualités externes au livre, liées à l'objet : sa reliure, une signature ou un ex-libris particulier, bref, les marques de son histoire, qui en font un objet singulier. La rareté possède donc différents degrés, du livre « peu commun » au livre « très rare », et c'est cette rareté qui, aux yeux d'un bibliophile, fait la véritable valeur d'un livre.

Curiosité et rareté sont les deux critères de sélection des amateurs de livres, et ont le caractère de la singularité en commun, singularité immatérielle (sens, style) pour l'un, matérielle (typographie, reliure) pour l'autre³¹. Or, comme nous le disions plus haut, le XVIII^e siècle voit le véritable essor de la bibliomanie, et la fin du siècle ne tarde pas à voir apparaître plusieurs manuels à destination de ce nouveau public d'amateur.

²⁸ Naudé ne cite aucun auteur "technique", ni aucun titre de littérature sur les arts, qu'il semble largement ignorer, au contraire des sciences : Galillée, oui, Agricola, non.

²⁹ Article « curieux » dans *Dictionnaire de Trévoux*, *op. cit.*

³⁰ Yann SORDET, *Pierre Adamoli et ses collections : l'amour des livres au siècle des Lumières*, coll. « Mémoires et documents de l'Ecole des chartes », n° 60, 2001.

³¹ L'opposition fond/forme ne peut être utilisée ici. Dans notre société contemporaine, qui tend à évacuer le matériel de sa pensée, le fond désigne le sens et la forme le style, rien ne désignant le support matériel.

Les théâtres de machines dans les manuels de bibliophilie

Le plus connu des manuels de bibliophilie est sans aucun doute la *Bibliographie instructive* de Guillaume-François Debure (le jeune), paru à partir 1763³². L'auteur est le premier d'une grande dynastie de libraires parisiens, connu pour la qualité des catalogues de vente qu'il rédigeait. C'est, à ce titre, un spécialiste de ce nouveau marché du livre rare. Le « discours préliminaire » de sa *Bibliographie instructive* ne constitue d'ailleurs ni plus ni moins qu'une réponse aux critiques de ceux qui reprochent aux collectionneurs de ne pas juger selon le « mérite intrinsèque »³³, ou le contenu, du livre. Après avoir distingué savants et amateurs, il défend l'étude des livres dans une perspective que nous qualifierions aujourd'hui de bibliographie matérielle³⁴, permettant de distinguer les vraies des fausses éditions, et surtout d'estimer au plus juste la valeur d'un livre. La distinction curieux/rares se retrouve d'ailleurs chez lui, dans l'opposition des "livres choisis", c'est-à-dire curieux, nécessaires à toute bonne bibliothèque (au sens de Naudé), et qui peuvent être « ordinaires », et des livres rares, dont il s'occupe et qu'il décrit parfois en détail, à l'aide d'un modèle de notice assez développé, qui, avec son système de classement, a fait sa réputation. En bref, son livre se veut un véritable manuel de bibliomanie, ou mieux, de "bibliophilie matérielle".

Rareté et singularité, dont le sous-titre du livre rappelle qu'ils sont les critères de choix du bibliographe, ne sont pourtant pas ses critères de tri. Debure choisit en effet de trier les ouvrages par thème, dans une optique plus proche de celle des "livres choisis". En réalité, cela montre qu'il comprend la rareté d'un point de vue relatif, au sein d'un domaine particulier, et non dans l'absolu. Cela suppose qu'à certains domaines sont associés certains types de singularités. Cependant, la véritable raison de ce classement est sans doute d'assurer une continuité de lecture entre son manuel et les catalogues de vente qu'il rédige³⁵.

³² Guillaume-François (le jeune) DEBURE, *Bibliographie instructive ou Traité de la connoissance des livres rares et singuliers*, Paris, Guillaume-François De Bure le jeune, 1763.

³³ Debure mentionne notamment les critiques du père Mercier dans son discours préliminaire au tome sur les sciences et les arts.

³⁴ Sur la bibliographie matérielle, lire l'ouvrage fondateur de D. F. MCKENZIE, *La Bibliographie et la sociologie des textes*, Paris, Le Cercle de la Librairie, 1991. Lire aussi Dominique VARRY, *Introduction à la bibliographie matérielle. Archéologie du livre imprimé (1454-vers 1830). Ouvrage évolutif mis en ligne pour la première fois le 15 juin 2011.*, <http://dominique-varry.enssib.fr/bibliographie%20materielle>, consulté le 14 mai 2013.

³⁵ Voir *infra* « Théâtres de machines dans les collections d'amateurs des XVII^e et XVIII^e siècle », p. 116.

Ce choix d'un système de classification par thèmes n'est pas celui du *Dictionnaire typographique* de Jean-Baptiste-Louis Osmont, paru en 1768³⁶. L'auteur n'a en effet pas cette ambition. Libraire parisien, son ouvrage se veut plus pragmatique et plus simple que celui de Debure (qu'il cite) dans l'objectif de faciliter recherches et transactions au collectionneur. Son *Dictionnaire* comprend donc des notices plus courtes, complétées parfois par quelques commentaires. L'intérêt principal de l'ouvrage d'Osmont repose cependant sur le prix moyen des éditions qu'il mentionne, une sorte de cote établie d'après son expérience de vente de livres anciens. Cette différence de méthode nous a fait choisir ce second manuel, parmi les autres disponibles, pour compléter cette recherche dans les manuels de bibliophilie. Elle témoigne en effet d'une volonté d'aller au devant du désir des collectionneurs, et propose un choix plus large que la plupart des autres manuels, fondés sur une ou deux grandes collections.

Le premier comme le second de ces manuels mentionnent plusieurs théâtres de machines. Leurs notices et leurs remarques nous permettent de mieux saisir la préciosité de ces ouvrages pour les collectionneurs du XVIII^e siècle. Debure en cite neuf, classé dans la rubrique « Mécanique ; ou la science des machines », de la section « Mathématiques », de la classe sur « les sciences et les arts »³⁷. Cette classification est intéressante, car elle témoigne de la nouvelle perception de la mécanique comme science auxiliaire des mathématiques. Les livres d'inventions ne sont pas classés dans les livres traitant des « arts mécaniques », leur place légitime dans les mathématiques, au XVIII^e siècle semble aller de soi.

³⁶ Jean-Baptiste OSMONT, *Dictionnaire typographique, historique et critique des livres rares, singuliers, estimés et recherchés en tous genres ; contenant par ordre alphabétique, les noms & surnoms de leurs auteurs, le lieu de leur naissance, le temps où ils ont vécu, & celui de leur mort, avec des remarques nécessaires pour en distinguer les bonnes éditions, & quelques anecdotes historiques, critiques & intéressantes, tirées des meilleures sources. On y a joint le prix qu'ils se vendent la plupart dans les ventes publiques.*, Paris, Lacombe, 1768.

³⁷ Parmi les autres notices de la rubrique, peu de livres de machines très illustrés : *Le projet d'une nouvelle mécanique* et la *Nouvelle mécanique* de Pierre Varignon, le *Recueil des machines du cabinet de Nicolas Grolier de Servières*, un traité d'horlogerie de Huygens, un autre d'Antoine de Thiout, *L'art de tourner* de Charles Plumier, et le *Traité de construction des instruments mathématiques* de Nicolas Bion. Notons que la science des forces mouvantes et l'hydraulique font l'objet d'autres sous-sections, dans lesquelles nous trouvons Salomon de Caus et Bélidor.

Édition mentionnée	Commentaire de Debure	Commentaire d'Osmont	Prix (Osmont)
Ramelli, 1588	In-fol. fig. / Ce livre est connu par sa rareté ; et il est regardé comme le plus bel ouvrage sur la partie des Machines. Nous en donnerons une description particulière, attendu qu'il s'en rencontre souvent des exemplaires qui ne sont point complets. (suit la description complète du volume).	In-fol. figures, rare / Ce livre est fort difficile à trouver complet ; il faut qu'il contienne 338 feuillets, ornés de 195 figures. Chez M. Fl.	60 l.
Leupold, 1724	3 vol. in-fol. fig. / Ouvrage dont on fait beaucoup de cas, & que l'on regarde comme le plus ample qu'on ait encore donné sur cette matière. Les exemplaires en sont assez chers, & se trouvent difficilement en France.	3 vol. in-fol. / fig. / Ouvrage rare & fort estimé	50 l.
Strada	1617-1618. In-fol. fig. / Ouvrage curieux et assez rare quand il est complet : le Tome second est le Volume qui se trouve le plus difficilement.	1618 & 1619, 2 vol. in-fol. figures / Le second volume est fort rare. Il était natif de Mantoue, & florissait en 1615.	40 l.
Zonca, 1607 et 1621	In-fol. fig.	In-fol. figures. / Ce livre n'est pas commun ; l'édition qui a paru depuis, en 1621, est la même, elle ne diffère que par la date	20 l.
Böckler, 1662	2 tom. En 1 vol. In-fol. fig. / Ouvrage estimé, & dont les exemplaires ne sont pas communs.	In-fol. fig.	20 l.
Caus	1615, (sous-section 8 : « <i>statique</i> ou sciences des forces mouvantes ») : In-folio, fig.	1624, bonne édition	15 à 18 l.
Branca, 1629	In-4°, fig.	In-4. Con figure. / Ce livre n'est pas commun	10 l.
Boillot, 1598	Non-mentionné	In-4° / Ce livre n'est pas aisé à trouver.	6-8 l.
Besson, 1578, édition latine	In-folio, fig.	Cum fig., in-fol. / Cet auteur naquit en Dauphiné, & vivoit en 1570.	Non indiqué
Veranzio, s.d.	In-fol. fig.	In-fol. fig. rare	Non indiqué
Schenck, 1736	3 vol. in-fol. magno, fig.	Non mentionné (n.m.)	n.m.

Tableau 9 : Commentaires de Debure et Osmont sur les théâtres de machines (classés par prix)

Ces mentions nous en apprennent beaucoup sur la façon dont ont été perçus les théâtres de machines au XVIII^e siècle, non seulement par les collectionneurs, mais aussi en général. Notons d'abord les absents de la liste : Isacchi, Errard, Bachot, et Zeising. Les trois premiers ont sans doute souffert d'éditions trop locales ou confidentielles, ne leur permettant qu'une réception quantitativement trop limitée pour être seulement parvenu à la connaissance de ces spécialistes du livre ancien¹. Quant au dernier, il n'a probablement pas reçu l'accueil qu'il méritait en France, mais nul doute qu'il soit référencé dans des ouvrages équivalents en Allemagne.

Nous pourrions encore élargir ce constat aux éditions citées et à celles laissées sous silence. Ainsi, rien n'est dit de la « réédition » des *Raisons des forces mouvantes*, sous un autre titre, par Isaac de Caus en 1644², ni celle du Ramelli en 1601, ou de celle du Zonca en 1656. Le phénomène est là encore à placer dans son contexte français. La France avait largement contribué aux succès des premières éditions, et les plus récentes étaient destinées à d'autres pays et sont donc trop rares en France pour avoir été repérées par ces experts. Mais ce qui ressort le plus de l'absence de certaines éditions, c'est une méconnaissance assez générale de la production allemande, sans doute due au fait que les collectionneurs privés, sur les bibliothèques desquels s'appuient les auteurs, se sont davantage tournés vers la production nationale. Ainsi, aucune mention n'est faite de la version allemande du Besson ou du Ramelli, du de Caus ou du Boillot. Remarquons d'ailleurs que, malgré le fait qu'en 1760 les *Theatri* de Leupold aient été depuis longtemps tous publiés une première fois, seuls trois volumes, probablement les trois premiers volumes de 1724, sont mentionnés. Cette méconnaissance de la littérature outre-Rhin, reflète une certaine réalité : le premier volume de Leupold est de loin celui dont nous avons trouvé le plus de notices sur *European Library* ; Zeising n'a été retrouvé en nombre que dans les bibliothèques germanophones.

Surtout, ce tableau permet de hiérarchiser les théâtres de machines selon leur valeur. À côté de livres trop peu connus pour être seulement mentionnés, nous pourrions

¹ Souvent, les libraires connaissent davantage les ouvrages de théologie, de droit et de littérature, parfois d'histoire que de science ou de technique. Cela se voit dans leur hésitation et la faible description de la plupart des livres. Le livre de Ramelli fait exception là encore.

² Voir aussi *infra* Chapitre 3 : note 6, p. 97.

distinguer trois classes de théâtres de machines : les livres « rares », les livres « peu communs », et celui de Besson. Sans surprise, nous retrouvons le livre d'Agostino Ramelli en tête des livres les plus recherchés et les plus chers sur le marché des théâtres de machines au XVIII^e siècle, c'est « le plus bel ouvrage [...] sur la partie des machines ». En revanche, comme l'attestent les deux spécialistes, le livre est parfois incomplet, ce qui suppose que des planches du Ramelli ont pu être vendues à part, l'ouvrage étant si connu et ses planches si bien gravées que "débité", la vente de gravure au détail pouvait rapporter davantage que le livre complet et relié.

Le manque d'exemplaires (notamment du second tome) et la beauté des scènes du livre de Jacopo Strada de Rosberg justifient sans difficultés sa valeur et sa rareté. Le volume des *Machinae Novae* de Fausto Veranzio est dit « rare » lui aussi, mais Osmont n'indique pas son prix. Sans doute n'était-il pas assez présent dans les ventes connues par le parisien pour qu'il ose fixer un prix, bien que la multiplicité des langues utilisées et son manque d'exemplaire justifient sans doute à eux seul l'appellation de rare, dont il ne faut pas être trop surpris.

Plus surprenant en revanche est le prix donné aux trois premiers volumes de Leupold. Les commentaires de Debure et Osmont nous éclairent. Peu diffusé en France, le livre gagne en valeur ce qu'il perd en disponibilité ; mais ce qui justifie le plus son prix c'est sa réputation. Le langage employé par les bibliographes (« on le regarde », « fort estimé ») montre qu'ils s'appuient ici sur une opinion commune, dont il nous est difficile pour le moment de déterminer la source (bibliophiles ? savants ? ingénieurs ?). Toujours est-il que c'est le contenu de l'ouvrage qui est ici mis en avant, non sur la pertinence de l'information toutefois, mais sur son amplitude, par la quantité des informations sur une matière. Réputation et amplitude viennent justifier la valeur financière d'un livre dont le manque de disponibilité sur le sol français ne saurait à lui seul expliquer le prix. Sans doute les livres édités par Pierre Schenck, quoique dans une moindre mesure, mériteraient une attention similaire, mais le fait qu'Osmont ne les mentionne pas nous empêche d'avoir une idée exacte de leur valeur.

Outre ces quelques ouvrages très coûteux, de plus de 40 livres tournois (l.t.), les bibliographes mentionnent une série d'ouvrages, peu communs, autour de 20 l.t. pour les

in-folio (Zonca, Böckler, de Caus³), autour de 10 l.t. pour les in-4° (Branca, Boillot). Le cas de l'ouvrage de Boillot est particulièrement significatif de la façon d'attribuer une valeur aux théâtres de machines : « difficile à trouver », il n'en demeure pas moins relativement peu cher par rapport aux livres de la même catégorie. Sa qualité, bien moindre que celle de son ouvrage sur les termes ne justifie pas l'appellation de « rare », ni même de « peu commun ». Le prix du livre se justifie simplement par son âge, le fait qu'il n'ait connu que deux maigres éditions, et qu'il soit orné de figures. Si les livres d'Errard, de Bachot, ou d'Isacchi avaient été recensés, nul doute qu'ils auraient trouvé leur place dans cette classe des livres "peu communs", mais d'une valeur modeste.

Reste à étudier le cas du livre de Jacques Besson, qui, là encore, se démarque par une certaine originalité de traitement. Première remarque, c'est l'édition latine de 1578 qui est indiquée chez les deux bibliographes. Il est vrai que c'est l'une des plus répandues, mais l'édition française de la même année, et les éditions ultérieures le sont aussi⁴. Sans doute les bibliographes mentionnent-ils cette édition comme une édition de référence, ce qui expliquerait l'absence de prix. Contrairement au livre de Veranzio, ce n'est pas le manque de disponibilité du Besson qui justifie l'absence de mention du prix, mais au contraire la multiplicité des éditions et la diversité des états des exemplaires, qui entraînent de grands écarts de prix d'une vente à l'autre.

Théâtres de machines dans les collections d'amateurs des XVII^e et XVIII^e siècle

Les théâtres de machines circulent donc sur le marché du livre d'occasion émergeant du XVIII^e siècle, mais peut-on en préciser la place ? Cette division en trois catégories de « rareté » pour une hiérarchisation des prix se retrouvent-elles dans les ventes effectives de ces livres ? Les catalogues de vente parus à Paris et à Lyon au cours du XVIII^e siècle⁵,

³ Peu importe l'édition, 1615 et 1624 sont des éditions identiques, commandées par Salomon de Caus, qui était possesseur de ses gravures.

⁴ L'édition latine de 1578 est, d'après les notices de l'*European Library* la plus répandue et la mieux distribuée dans toutes les bibliothèques nationales d'Europe, le latin aidant. Si l'on s'en tient à la seule France, c'est l'édition française de 1578 la plus répandue, puis, quelque soit la sphère géographique considérée, c'est la version italienne de 1582.

⁵ Annie CHARON, Elisabeth PARINET et Dominique BOUGE-GRANDON (dirs.), *Les ventes de livres et leurs catalogues, XVII^e-XX^e siècle. Actes des journées d'étude organisée par l'ENSSIB (Paris, 22 janvier 1998) et par l'école nationale des Chartes*, Paris, Ecole nationale des Chartes, 2000 ; INSTITUT D'HISTOIRE DU LIVRE, *Catalogue de vente de livres anciens (base de données)*, <http://ihl.enssib.fr/bases-de-donnees/catalogue-de-vente-de-livres-anciens>, consulté le 12

véritables outils de travail de ce marché naissant de la bibliophilie, permettent d'avancer quelques éléments de réponses, à condition de prendre les précautions nécessaires.

La première est de distinguer les catalogues de vente de collections privées des catalogues de librairie. Ces derniers, peu étudiés, sont rédigés le plus souvent du vivant du libraire, pour présenter leurs titres à de potentiels clients, plus rarement à la mort du libraire lors de la liquidation de son fonds. Nous y trouvons principalement des livres récents, rarement antérieurs à 1650, sauf dans le cas d'héritiers de longues dynasties de libraires. Point intéressant, réédités sur plusieurs années, les catalogues permettent de suivre l'évolution du fonds, et donc des ventes de tel ou tel numéro. Sur les 44 catalogues édités par 32 libraires parisiens différents, nous ne comptons aucun théâtre de machines. À Lyon, sur les 26 libraires qui éditent des catalogues de leurs fonds, seuls 4 possèdent des théâtres de machines. Les frères de Ville et de Tournes, issus de grandes familles d'éditeurs possèdent ainsi chacun un Besson, hérité sans doute, et qu'ils ne parviennent pas à vendre⁶. Le livre de Besson semble suffisamment courant pour que sa vente soit difficile auprès des potentiels intéressés, qui rechercheront des exemplaires très soignés. Tel n'est pas le cas du *Theatrum machinarum novum* de Georg Böckler, que vendent les frères Duplain, *leaders* du marché lyonnais de la bibliophilie au XVIII^e siècle, entre 1748 et 1769⁷. Mentionnons enfin la collection exceptionnelle du libraire Dohaire, nouvel acteur de la bibliophilie lyonnais au début du XIX^e siècle, qui possède un Ramelli et un Böckler. Les théâtres de machines restent donc l'apanage de grandes familles de libraires ou de libraires spécialisés, même si peu d'exemplaires circulent par ce biais.

C'est que le mode majeur d'acquisition de livres anciens n'est pas spécifiquement la librairie, mais le réseau, qui laisse peu de traces⁸, et l'achat aux enchères de livres issus de collections privées. En effet, il arrive fréquemment qu'à la mort d'un possesseur, ses héritiers souhaitent vendre sa bibliothèque. Pour cela, ils font appel à des libraires spécialisés⁹, qui organisent la vente dans des locaux dédiés à cet effet, et rédigent un

mai 2013.

⁶ Les frères de Ville possèdent un exemplaire de l'édition espagnole de 1602, et le garde de 1733 à 1735. Les frères de Tournes possèdent un exemplaire de l'édition latine de 1582, et le garde de 1745 à 1758.

⁷ La référence au Böckler, présente dans leur catalogue de 1748, disparaît dans le catalogue de 1769.

⁸ Sur l'organisation des réseaux de bibliophilie, lire Yann SORDET, *Pierre Adamoli et ses collections*, op. cit..

⁹ Pour Lyon, citons notamment les frères Duplain qui domine le marché au milieu du XVIII^e siècle, les libraires Jacquenod et Los-Rios vers la fin du XVIII^e siècle, et au XIX^e siècle les libraires Reymann et Kindelen. Pour Paris, citons

catalogue qui, diffusé, permet d'attirer les amateurs. Ouvrages de référence, au double-sens qu'ils permettent de référencer les exemplaires à vendre et qu'ils sont utilisés comme informations générales sur l'état du marché, ils visent à donner de nombreuses informations¹⁰. Ainsi, dans l'idéal, les catalogues trient les ouvrages en « classes » (grands domaines), parfois en sous-catégories, et dans le cas de très grandes collections par format et par langue. Ils donnent plusieurs informations sur le format, la reliure, la présence d'images, la qualité de l'exemplaire, notamment en ce qui concerne les ouvrages les plus précieux et les plus recherchés. La qualité des catalogues varient cependant selon le libraire qui le rédige et le temps dont il dispose¹¹. Par ailleurs, seuls quelques trop rares exemplaires de ces catalogues, annotés par un possesseur présent à la vente, mentionnent le prix de vente des ouvrages. Enfin, notons que, si le public visé est celui des bibliophiles¹², le défunt n'était pas obligatoirement un collectionneur. Il s'agit parfois de bibliothèques professionnelles (droit, médecine, théologie), parfois de simples hommes cultivés disposant d'une bibliothèque « de livres choisis ».

Au total, notre étude a porté sur 105 catalogues de vente parus entre la fin du XVII^e siècle et 1820¹³ : 54 de Paris, 51 de Lyon¹⁴, dont la grande majorité (85%) est parue après 1750¹⁵. Les résultats obtenus montrent le caractère, non pas marginal, mais limité de la vente de théâtres de machines. Seul un petit quart (26 sur 105) des catalogues étudiés mentionne un, voire deux théâtres de machines, pour un total de 48 mentions très

Gabriel Martin qui domine largement le marché au milieu du XVIII^e siècle, puis Guillaume Debure pour la fin du XVIII^e siècle. De moindre ampleur, citons encore les libraires Barrois et Proult.

¹⁰ Les catalogues de vente sont conservés par les bibliophiles, qui disposent parfois d'un rayon dédié à ces ouvrages. Ils leur permettent de s'informer sur l'état du marché de la bibliophilie. C'est d'ailleurs par le biais de dons de bibliophiles que les bibliothèques publiques ont pu acquérir des fonds si imposants de catalogues de vente.

¹¹ D'après les préfaces, certains héritiers semblent assez pressés.

¹² D'après les préfaces, qui mettent en avant les livres « rares » et les belles reliures, et se désolent parfois de l'absence de livres vraiment intéressants pour le public habituellement présent lors de ces ventes. Pour ces bibliothèques moins intéressantes, la vente se fait souvent par lots.

¹³ La date de 1820 a été choisie arbitrairement, elle nous permettait surtout de consulter l'ensemble des catalogues rédigés par des libraires qui avaient déjà officié à la fin du XVIII^e siècle.

¹⁴ Tous les catalogues parisiens consultés sont disponibles sur Gallica, sauf six, disponibles sur google livres (Bibliotheca Colbertina, celle du comte de Hoym, du duc de la Vallière, de M. de Boze, de M. Gaignat, et de M. de Rothelin, tous bibliophiles réputés au XVIII^e siècle). Les catalogues lyonnais consultés correspondent à l'ensemble de la cote 371371 du fond ancien de la bibliothèque municipale de Lyon (23 volumes). D'après une base de données sur les catalogues de vente de livres anciens (disponible sur le site de l'Institut d'histoire du livre : <http://ihl.enssib.fr/>), il y a eu 63 catalogues édités à Lyon et 203 à Paris, pendant la même période. Nous avons donc pu consulter presque la totalité des catalogues de vente lyonnais, et un quart des catalogues de vente parisiens, notamment ceux des bibliothèques les plus importantes et rédigés par des libraires spécialisés. Pour plus de détails sur les catalogues consultés, voir Annexe 6 : « Étude sur les catalogues de vente lyonnais et parisiens », p. VII.

¹⁵ Donc pouvant potentiellement contenir des exemplaires des théâtres de Leupold et de Pierre Schenck.

inégalement réparties dans les catalogues. Plusieurs raisons globales expliquent cela : d'abord, les livres du XVII^e et encore plus du XVI^e siècle, sont peu nombreux, en général, dans ces catalogues. C'est pourquoi nous trouvons plus facilement dans la catégorie « mécanique ou science des machines », les livres de Varignon ou le catalogue du cabinet de Nicolas Grolier de Servières. Plus rares, plus chers, les théâtres de machines sont aussi l'objet de thésaurisation par plusieurs institutions ou grandes familles, qui, plutôt que mettre en vente leurs bibliothèques, se les transmettent ou en font don à des institutions publiques. Une dernière raison est que la mécanique est un domaine assez peu représenté dans les collections de « sciences et arts », au contraire de la médecine, de l'histoire naturelle, de l'architecture et des arts militaires. Tous domaines qui donnent aussi lieux à de très beaux livres.

Intéressons-nous cependant aux amateurs qui en possèdent. Nous l'avons dit, ils sont peu nombreux. Et nous observons une première disparité géographique. À Lyon, dix catalogues mentionnent au moins un théâtre de machines, contre seize à Paris. Cela s'explique d'abord et avant tout par la taille des bibliothèques. Avec 2450 articles en moyenne (hors *Colbertina*¹⁶) contre 1460 pour Lyon, les bibliothèques parisiennes sont beaucoup plus riches, et la possession de théâtres de machines est principalement le fait de riches bibliothèques. Aucune bibliothèque de moins de 1000 titres ne possède de théâtre de machines, alors que 70% des bibliothèques de plus de 3000 titres en possèdent au moins un. Il faut être riche et collectionneur pour posséder un théâtre de machines.

Cependant, la taille absolue de la bibliothèque n'explique pas tout, et il faut nuancer la mesure en fonction du contexte local. À Lyon, les bibliothèques de 1000 à 2000 titres sont déjà de grandes bibliothèques, et détiennent à elles seules la moitié des théâtres de machines vendus dans la ville au XVIII^e siècle. À Paris, en revanche, les bibliothèques contenant moins de 2000 titres sont de petites bibliothèques et ne contiennent qu'1/10^e du total des théâtres de machines répertoriés dans les catalogues de vente de cette ville. Il

¹⁶ La « *bibliotheca Colbertina* » désigne une bibliothèque vendue par le petit-fils du « grand » Colbert : Charles-Eléonore Colbert, comte de Seignelay, en 1728. Il avait hérité des bibliothèques de son père Jean-Baptiste Antoine Colbert (aîné du « grand » Colbert), de ses oncles Jacques-Nicolas, archevêque, et Charles-Eléonor, bibliophile, et de son grand père, le « grand » Jean-Baptiste Colbert. Au total, 18219 notices de livres, estampes, cartes et partitions ont été cataloguées en 3 volumes.

faut donc entendre la taille des bibliothèques de façon relative, et non de façon absolue, et retenir simplement que les théâtres de machines se trouvent d'abord dans les grandes bibliothèques de bibliophiles, entendues selon les critères locaux.

Pour autant, il n'y a pas là de relation de cause à effet. Toute grande bibliothèque ne contient pas obligatoirement un théâtre de machines. Ainsi celle de l'abbé Charles d'Orléans de Rothelin, bibliophile reconnu, atteignait plus de 5000 volumes d'après le catalogue qu'en a dressé Gabriel Martin en 1746, mais il ne contient aucun théâtre, et d'ailleurs assez peu d'ouvrages de mathématiques, au contraire des ouvrages de théologie, de droit canonique et surtout d'histoire¹⁷. Nous voyons ici que l'intérêt particulier, voire professionnel, du possesseur entre en ligne de compte dans le choix des livres, y compris anciens. Ce que confirme le recoupement des catalogues et des métiers des possesseurs : médecins et membres du clergé ne possèdent que très rarement des théâtres de machines, les premiers ayant plus de goût pour la médecine et l'histoire naturelle, et les seconds pour la théologie et l'histoire ; magistrats¹⁸ et membres de la grande noblesse¹⁹ cherchent un équilibre entre les divers catégories, et donc entre intérêt professionnel et goût pour la rareté des livres, et un quart d'entre eux possède ainsi au moins un théâtre de machines ; enfin la moitié des administrateurs²⁰ et académiciens²¹ possèdent au moins un théâtre de machines, et souvent plusieurs. Notons qu'avec une moyenne de plus 3400 articles pour les administrateurs parisiens (hors Colbert), il s'agit aussi des plus grandes bibliothèques. Cependant, nul doute que le goût de la rareté le dispute ici à un intérêt particulier pour les sciences mathématiques en général, l'architecture, ou l'art militaire.

¹⁷ Sur 572 pages de références, 150 (25%) sont dédiées à la théologie et au droit canonique et 275 (50%) à l'histoire. Le quart des pages restantes traite du droit civil, des sciences et arts (dont la médecine), et des belles-lettres. Les pages dédiées aux mathématiques et aux arts représentent 1,5% du total des pages.

¹⁸ Avocat, conseiller ou présidents de parlement, les magistrats constituent à eux seuls plus d'un tiers des possesseurs des bibliothèques étudiées (et dont le métier nous est connu).

¹⁹ Nous entendons par grande noblesse, ceux dont la tâche principale consiste à gérer leur domaine, et qui n'ont pas de charge autre. Certains "grands nobles" sont classés selon la fonction qu'ils ont occupée, comme les Colbert, classés avec les administrateurs.

²⁰ Nous entendons par administrateurs différentes personnes ayant des charges d'État, notamment ministres et receveurs général des finances, trésoriers, écuyers, lieutenant généraux.

²¹ Nous entendons par académiciens les seuls membres de l'Académie royale des sciences de Paris. L'académie de Lyon étant plus jeune, de moindre importance, et concentrant une grande partie de l'élite locale, en être membre n'est pas un réel critère d'appartenance à la communauté savante de la ville.

Le critère de rareté doit donc être complété par celui d'un intérêt, d'une curiosité pour un domaine particulier. Une curiosité qui ne fait pas ici concurrence au critère de rareté mais qui précise une orientation des collections, une orientation vers laquelle celle-ci se spécialise. Pour autant, les théâtres de machines ne semblent pas constituer une spécialisation à part entière. Sur 26 catalogues mentionnant des théâtres de machines, 15 (58% de tous les catalogues) n'en mentionnent qu'un seul, ou même 18 (70%) si nous considérons que les différents tomes édités par Pierre Schenck ne forment qu'un seul théâtre de machines. *A contrario*, seule deux bibliothèques contiennent plus de trois théâtres de machines. La première est la bibliothèque de Raphaël Trichet de Fresne, bibliophile et bibliothécaire de Gaston d'Orléans (fils d'Henri IV), puis de Christine de Suède, il semble avoir profité de sa charge pour acquérir une collection cohérente de théâtres de machines (Besson, Ramelli, Zonca deux exemplaires de Caus -1615 et 1624-, Strada, Veranzio), dans une très grande bibliothèque personnelle, réputée pour sa richesse, vendue par la veuve Trichet en 1672²². La seconde est l'immense bibliothèque des Colbert contient cinq théâtres de machines différents (Besson, Ramelli, Veranzio, Strada, Branca), et il est difficile de savoir ce qu'une telle collection doit à la réunion de plusieurs grandes bibliothèques ou au goût d'un des anciens possesseurs en particulier.

Quoiqu'il en soit, s'il est rare de trouver une catégorie « mécanique » fournie de plus de quelques titres, il est encore plus rare de trouver des séries cohérentes de théâtres de machines et c'est souvent isolé, individuellement, que nous trouvons une mention d'un Veranzio, d'un Besson ou d'un Ramelli, acquis au gré des occasions.

Une étude plus fine de la possession des théâtres de machines selon les auteurs, les éditions et les lieux géographiques permet cependant de mieux saisir les raisons de l'intérêt pour les collectionneurs. Ainsi, pour revenir sur la question des séries, nous observons que les deux mentions de Strada accompagnent d'autres théâtres de machines plus connus (Caus, Ramelli) ; de même que l'unique mention du livre de Zonca, l'unique mention de Branca, et une des deux mentions du Veranzio. Cela montre que les moins disponibles des théâtres de machines ne sont acquis que par ceux qui en ont déjà

²² *Catalogus librorum Bibliothecae Raphaelis Tricheti Du Fresne*, Paris, chez Viduam, 1672. Bibliothèque municipale de Lyon, cote 371 142.

un. Indice d'un goût particulier pour les théâtres de machines, ou d'un intérêt plus général pour la mécanique.

Arrêtons-nous sur quelques ouvrages particuliers. Le livre de Jacques Besson et celui de Jean Errard ne sont jamais classés dans la catégorie « mécanique », mais dans celle de « mathématique générale », où sont placés les livres sur les instruments mathématiques. Les titres des ouvrages insistant sur la présence d'instruments induits ici en erreur des libraires peu connaisseurs de la littérature mécanique, et ce même si les différentes éditions du livre de Jacques Besson totalisent 15 % de toutes les mentions de théâtres de machines et jusqu'à 23% à Lyon. Signe là encore, d'une très grande diffusion de cet ouvrage, encore bien présent dans les collections française des XVII^e et XVIII^e siècles.

Cependant, si le Besson est le théâtre de machines qui a sans doute été tiré au plus grand nombre d'exemplaires, ce n'est pas celui qu'on retrouve en majorité dans les collections de ces grands bibliophiles. Il doit ici céder la place au livre de Ramelli, et même à la seule édition de 1588 du livre de Ramelli. Celui-ci totalise 18% des mentions, mais là encore, avec une disparité régionale, exactement inversée par rapport au Besson. Il représente 15% des mentions à Lyon et 20% à Paris. Cela s'explique de deux façons. D'abord, même si Paris est le berceau du livre de Besson, c'est à Lyon/Genève qu'il fut le plus diffusé. À l'inverse, le Ramelli connut sa première et seule édition publiée en France à Paris. De plus, à l'histoire éditoriale vient s'ajouter la richesse des parisiens, qui leur permet d'acheter des livres aussi rares et chers que le Ramelli²³. Ce dernier, en effet, est autant réputé pour son contenu que pour sa richesse typographique. Le libraire Benoît Duplain, chargé de rédiger le catalogue de vente des doubles issus de la réunion de la bibliothèque du collège de La trinité avec celle de la ville de Lyon, le cite dès la préface au lecteur : « on y trouvera parmi les livres précieux & rares [...] les Machine di Ramelli ». Précieux, rare, le livre trouve sa valeur dans la qualité et le nombre des gravures et le soin de la typographie. L'usage d'un nom abrégé témoigne d'ailleurs de la familiarité du titre

²³ Toutefois, la valeur du Ramelli semble diminuer à la fin du siècle. D'après des annotations en marge, il est vendu 50 livres 11 sous en 1738 lors de la vente de la bibliothèque du comte de Hoym (exemplaire de l'université de Princeton sur Google livres) ; Osmont l'estime encore à 60 livres en 1768, mais il n'est plus vendu que 29 livres 19 sous en 1800, lors de la vente du trésorier du Languedoc Joseph Bonnier (exemplaire BnF sur Gallica).

pour les collectionneurs, à l'instar de Pierre Adamoli, grand bibliophile lyonnais, qui possédait son propre Ramelli, ainsi que son Besson, son Salomon de Caus, et son Zonca. Cette collection témoigne du fait que les théâtres de machines pouvaient être collectionnés pour leurs caractéristiques esthétiques et typographiques.

De même, les *Theatri* édités par le hollandais Pierre Schenck au début du XVIII^e siècle semblent assez en vogue dans le Paris du XVIII^e siècle, où ils forment 28% des mentions de théâtres de machines, et ce, malgré un prix assez élevé²⁴. Il faut dire que ce sont de très beaux livres, imprimés en grand in-folio, avec des gravures dépassant les 50cm de long sur 30 de large, dont certaines préfigurent les très grandes gravures des ouvrages de mécanique industrielle du XIX^e siècle. La rareté de ces livres tient ici plus à leur qualité graphique, qu'à leur manque de disponibilité ; le côté "*coffee-book*" joue à plein²⁵. Pierre Schenck ayant fait traduire certains de ces *Theatri*, ceux-ci sont d'ailleurs plus facilement disponibles que Leupold à Paris. L'éditeur hollandais réussit ici son projet, en proposant de beaux livres pouvant intéresser un public plus large. Il est frappant de constater que l'autre collection de théâtre du XVIII^e siècle, celle de Leupold, demeure totalement absente des catalogues de ces bibliophiles, préférant les livres de langue française, voire parfois italienne²⁶.

Rappelons que le seul livre de langue allemande mentionné dans ces catalogues de vente est le livre de Böckler, sur lequel il nous faut revenir. Cinq exemplaires de la première édition de 1662 ont été trouvés dans les catalogues, soit un gros dixième du total. Il semble plus diffusé à Lyon (3 exemplaires, 20% du total des mentions lyonnaises) qu'à Paris (2 exemplaires, 8% du total des mentions parisiennes). Beau livre, aux exemplaires « peu communs », il doit son succès auprès des collectionneurs davantage à la qualité graphique du nouveau tirage des magnifiques planches de Strada, que dans ses explications allemandes peu compréhensibles par des lettrés français.

²⁴ Nous nous référons à une annotation dans un catalogue de 1686 publié à Paris par Debure, et qui mentionne la vente pour 100 livres d'un lot composé de trois théâtres édités par Pierre Schenck ; soit 30 livres chacun.

²⁵ L'expression est utilisée dans Luisa DOLZA et Hélène VERIN (dirs.), *Il Theatrum di Jacques Besson, op. cit.*

²⁶ Les éditions de Besson possédées à Paris sont françaises, tandis que les éditions possédées à Lyon sont aussi bien françaises qu'espagnoles ou italiennes, signe du cosmopolitisme lyonnais de la première modernité. Mentionnons toutefois le Zonca, possédé par le duc de la Vallière (qui a un goût prononcé pour la littérature italienne) et le Branca par les Colbert.

Que pouvons-nous conclure de ce panorama de la diffusion des théâtres de machines dans les bibliothèques privées vendues au XVIII^e siècle ? D'abord, que la diffusion sur le marché du livre rare est plutôt marginale, et concerne prioritairement la production française. Ensuite, nous observons une première différence régionale. Les catalogues parisiens possèdent très majoritairement des théâtres de machines réputés pour leur qualité graphique : 1/3 des auteurs (Ramelli, Strada, van Zyl et van der Horst) rassemblent plus de la moitié des mentions. À Lyon en revanche, il semble que les collections soient moins le fruit de politiques cohérentes d'acquisition que d'occasions, les ventes étant plus rares.

Il faut surtout noter que le nombre d'amateurs spécifiquement intéressés aux théâtres de machines est relativement faible, comme en témoigne la faiblesse des séries de théâtres, due à un manque général de curiosité pour la mécanique, au profit de l'architecture ou d'autres parties des mathématiques²⁷. À côté de ces rares curieux de mathématiques, c'est surtout la réputation typographique, voire historique dans le cas de Besson, qui sauve certains ouvrages de l'oubli du public des amateurs et fait que certains possèdent un Ramelli, d'autres un Böckler, d'autres encore les publications de Pierre Schenck, dont la mention est parfois la seule de toute la catégorie « mécanique »²⁸. Dit autrement, c'est l'aspect esthétique et rare des théâtres de machines qui en fait des objets de collection, davantage que leur sujet.

Nous trouvons pourtant certaines personnes pour qui l'intérêt envers cette discipline était réel. Inventeurs amateurs, architectes intéressés, les livres de machines ont suscité l'intérêt de certains curieux. Cela se traduit non seulement par la possession de livres, mais aussi par celles de modèles de machines, sur lesquels l'influence du corpus est explicite.

²⁷ Qui explique le fait que Boillot et Besson, à la classification ambiguë soient assez bien collectionnés.

²⁸ Il serait intéressant de voir si le même constat s'observe sur le marché allemand de la bibliophilie, où si nous y trouvons davantage de séries et donc l'indice d'un intérêt plus prononcé des amateurs pour la mécanique.

Modèles et théâtres de machines

Une évolution similaire ?

Pour Horst Bredekamp, la collection de machines et d'instruments s'inscrivait dans une « chaîne historique nature-Antiquité-art-technique »²⁹. Parmi les œuvres techniques, les machines tenaient le haut du pavé, et le même auteur illustre son propos en faisant un lien entre ces collections de machines et la publication des théâtres. Il cite en effet la trentième planche du livre de Jacques Besson. Il s'agit d'un treuil en trois axes, qui, sur la gravure de Jacques Androuet du Cerceau, permet de transporter un immense chapiteau récupéré dans une grotte recelant de nombreuses pièces d'architecture antique. La machine est ici un moyen de constitution des cabinets de curiosité.



Figure 4 : Planche 30 de Jacques Besson, *Theatrum instrumentorum et machinarum* (Lyon [Genève], 1578)

²⁹ Horst BREDEKAMP, *Machines et cabinets...*, op. cit., p. 122.

Mais les machines les plus prisées de ces cabinets étaient les automates, qui surpassaient les œuvres antiques par le mouvement imprimé à l'œuvre. C'est ici Salomon de Caus qui est convoqué³⁰ avec sa magnifique planche sur la Galatée, qui avait l'avantage d'insérer l'invention dans un contexte visuel et sonore³¹, ajoutant à l'aspect magique du mouvement. Les automates témoignaient de la recherche d'un jeu dans les œuvres humaines, qui devaient pouvoir imiter le jeu et le hasard de la nature.

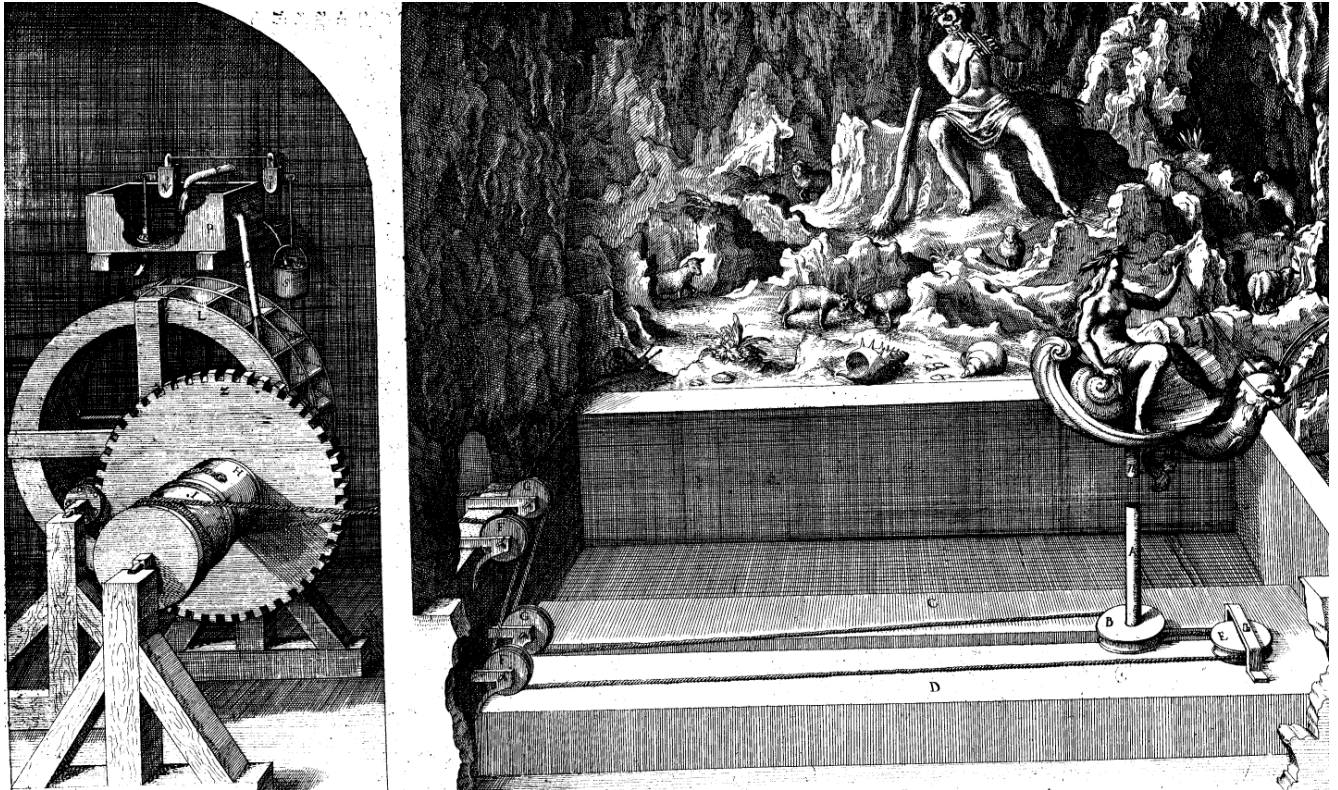


Figure 5 : Illustration du problème 22 de Salomon de Caus, *Les Raisons des forces mouvantes* (Francfort, 1615)

La notion d'utilité qui se développe vient casser ce double lien (gratuité et magie du mouvement et jeu) des machines et des cabinets. Le volet « technique » de la chaîne historique s'autonomise, comme en témoigne la réorganisation des collections d'Auguste-le-fort et d'autres collections allemandes, riches en machines et automates. La

³⁰ *Ibid.*, p. 70

³¹ La Galatée de Salomon de Caus fait des allers-retours devant une grotte dans laquelle joue un cyclope (Polyphème). L'installation de l'ingénieur vise non seulement à faire se mouvoir la nymphe, qu'à faire jouer à un orgue hydraulique le son de la flûte du cyclope.

publication, que M. Bredekamp mentionne encore, du *Theatrum* de Jacob Leupold³², vient là encore souligner et accompagner ce changement.

Pourtant, à la fin du XVII^e siècle, les références aux modèles de machines se multiplient. Leur développement sous le règne de Louis XIV est en effet incontestable, et accompagne l'essor des plans-reliefs. L'idée de présenter un projet en petit avant sa réalisation en grand traverse en effet cette période comme en témoigne la démonstration de la machine de Marly à Saint-Germain-en-Laye en 1678, dont la réussite décida de la construction de la machine. Notons encore l'usage de modèles pour obtenir un privilège sur une invention.

Cette utilisation savante des modèles de machines accompagne ainsi une critique des collections spécialisées d'amateurs de mécanique. Les cabinets de curiosités commencent aussi à être la cible de ce nouvel esprit "méthodique" que le siècle allait imposer à tous. La curiosité se fait savante, elle se met au service de l'observation scientifique. La topique propre aux cabinets renaissants n'était plus intelligible, et une nouvelle méthode de classification se faisait jour, d'ailleurs globalement similaire à la division des domaines par les bibliographes ; mais l'usage des modèles n'en semblaient que plus renforcé.

La similarité des évolutions de l'usage des modèles et des théâtres de machines pose ici la question de connaître non seulement les liens qu'entretenaient les amateurs de modèles avec les théâtres de machines, mais aussi l'évolution de la lecture qu'ils en ont faite dans la réorganisation intellectuelle émergeant à la fin du XVII^e siècle. Nous tenterons ainsi de montrer que loin d'avoir évolués de façons parallèles, poussés vers un nouvel état par l'esprit du siècle, théâtres de machines et collections de modèles n'ont cessé d'interagir pour donner naissance à une nouvelle lecture, originale et conjointe, des livres et modèles de machines.

L'invention comme base de la constitution d'un cabinet de machines

Le Recueil d'ouvrages curieux de mathématique et de mécanique ou Description du cabinet de monsieur Grolier de Serviere [Nicolas] par monsieur Grolier de Serviere

³² Horst BREDEKAMP, *Machines et cabinets...*, op. cit., p.122-123

[*Gaspard II, son petit-fils*], est paru à Lyon en 1719, mais le cabinet qu'il décrit est issu d'acquisitions et de fabrication qui datent du milieu du XVII^e siècle. Nicolas Grolier de Servières, né en 1593 était le petit-neveu de Jean Grolier, le célèbre bibliophile. Il a fait une carrière militaire brillante, dans laquelle il s'est illustré par son ingéniosité, puis a passé sa retraite à inventer et fabriquer horloges, ouvrages de tour et modèles de machines. Il est mort à 93 ans³³. Sa collection d'*artificialia* témoigne de son goût pour les machines, qui occupent les trois-quarts du catalogue, pour un total de soixante-huit machines. Presque la moitié de ces dernières sont des machines à élever les eaux, qui semblent largement inspirées de celles de Ramelli, bien qu'aucune n'y soit exactement semblable. Un quart est occupé d'ailleurs par des ponts mobiles militaires, dont Ramelli s'était fait une spécialité et qui a façonné la réputation de Nicolas Grolier de Servières dans sa carrière militaire³⁴. Le dernier quart comprend plusieurs machines (moulins, grues, transports), quelques instruments scientifiques et une variante de la roue à livre de Ramelli³⁵. *Les diverses et artificieuses machines* du capitaine Ramelli étaient donc sans aucun doute l'une des sources d'inspiration principales pour les inventions du capitaine Grolier de Servières.

Invention, voilà en réalité l'origine des cabinets, et non collection. Le cabinet est l'œuvre d'un oisif qui occupe sa retraite à des travaux manuels suffisamment nobles pour être acceptés, comme le tour, les horloges et la conception de machines. Ici le modèle remplace le papier comme support, mais la fonction est la même³⁶. D'ailleurs, nous pouvons émettre certains doutes quant à l'existence de toutes les machines décrites sous forme de modèles. La mise en scène, certes moindre mais existante, la complexité et le nombre de ses machines, parfois très similaires, laissent penser que certaines inventions sont restées sous la forme de dessins ou de gravures. La planche 43, qui présente un système de chaîne de pistons pour élever en est un exemple parmi d'autres³⁷. La

³³ Nous devons toutes ces informations à la biographie qu'en donne son petit-fils Gaspard II, dans le catalogue.

³⁴ Son petit-fils raconte comment, alors qu'il était capitaine de l'infanterie d'Aigues-Bonne, il fit construire un pont mobile en liant plusieurs bateaux ensemble pour traverser le Rhône de Tarascon à Beaucaire.

³⁵ Cette variante, plus simple, reposant sur le poids des livres et non sur une série d'engrenages complexes, a sans doute eu plus de succès et nous avons vu une roue similaire à celle décrite dans la bibliothèque de l'évêque de Puebla (Mexique) Juan de Palafox, gardée dans son état du XVII^e siècle.

³⁶ Voir aussi p. 130.

³⁷ Nous pourrions mettre en avant des gravures où des hommes sont représentés en train de faire fonctionner la machine,

présence en bas à gauche de la gravure d'éclatés présentant des variantes possibles de pistons assoie notre hypothèse et confirme l'idée que le modèle n'était pas premier dans la collection de machines, qu'il n'était qu'un moyen parmi d'autres de présenter l'*ingenium* de l'inventeur-collectionneur.

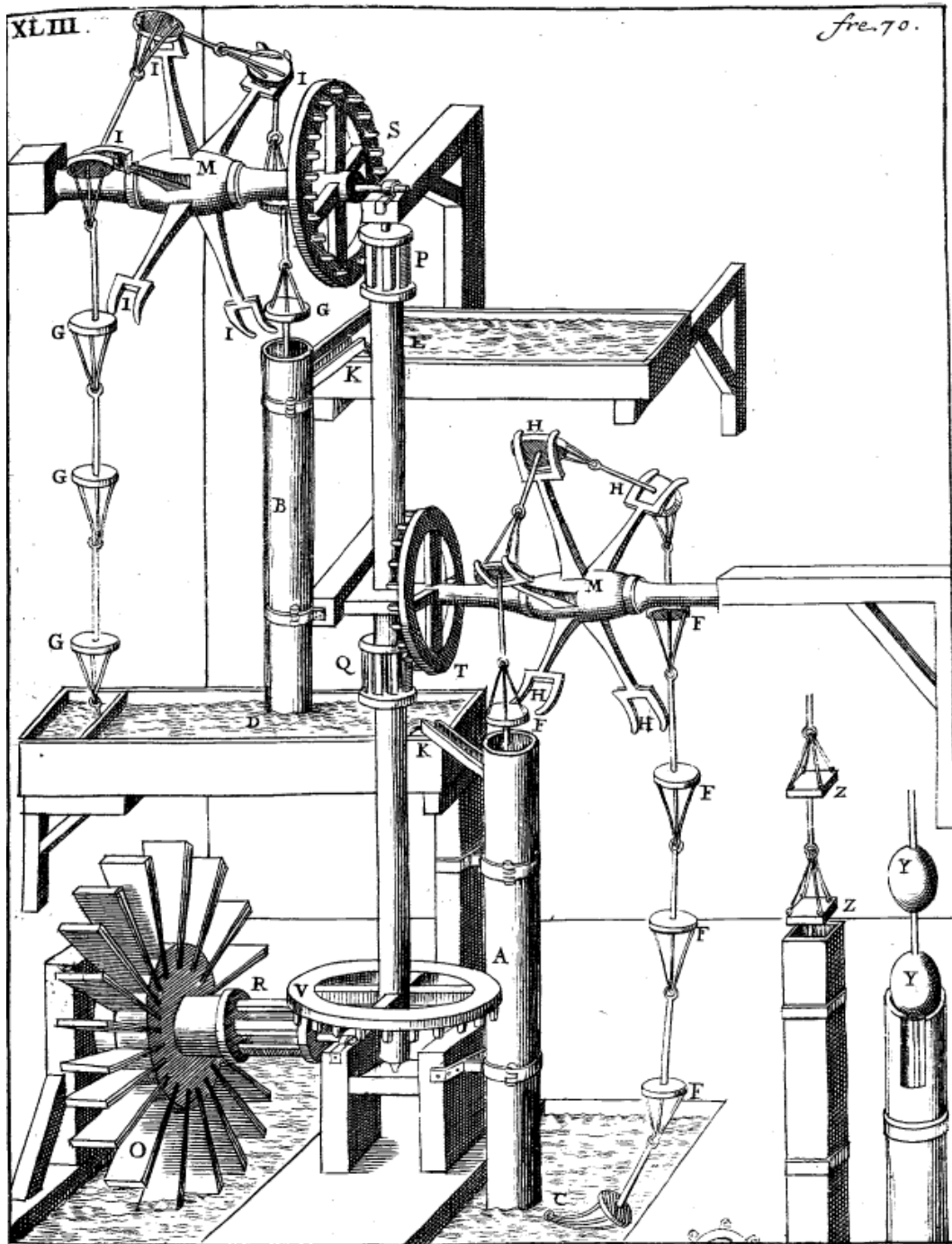


Figure 6 : Planche 43 de Gaspard Grolier de Servières, Recueil d'ouvrages curieux de mathématique et de mécanique (Lyon, 1719)

Ces gravures étaient sans doute conservées dans des portes-folios ou des bibliothèques, à côté de beaux livres sur les machines, l'architecture, et les mathématiques. La gravure de Sébastien Le Clerc « Le cabinet de l'artiste » (voir Figure 9 : p. 136) montre en effet, en arrière-plan et sous les étagères remplies de modèles, une série de livres, placés à l'écart d'une bibliothèque générale et s'intégrant donc pleinement dans le cabinet de machines³⁸. Sur l'étage supérieur des étagères et sur les piliers, on remarque d'ailleurs que des affiches viennent compléter la collection.

Mentionnons encore une autre trace de cette correspondance entre livres, dessins et modèles de machines. Le legs que le mathématicien lyonnais Jean-Philibert Ambert fait en 1712 au collège de La Trinité, comprend à la fois des livres de machines (Besson, Veranzio), et des modèles. L'*ex-dono* présent sur chacun des livres cités dit en effet que ces livres ont été, peu avant la mort du possesseur, placés dans son « musée de mathématiques », lui aussi entièrement légué aux jésuites du collège³⁹.

Maintenir la réputation du cabinet

En ce début de XVIII^e siècle, les critiques contre les cabinets de curiosités commencent à poindre. Si les cabinets spécialisés semblent peu visés, la réputation des collections n'en demeure donc pas moins menacée. Gaspard II, dans les premières lignes du catalogue qu'il publie en fait l'un des objectifs majeur de son projet :

« Deux raisons principales me font entreprendre la Description des Ouvrages curieux, qu'on voit à Lyon, dans le Cabinet de feu mon Grand-Père. / La première, a pour objet la satisfaction & l'utilité du Public. / La seconde m'intéresse uniquement ; elle regarde la réputation de ce Cabinet, qui me doit être chère, & qui dans la suite des temps pourroit diminuer de son prix : soit par les accidens naturels & imprévus, qui détruisant les Ouvrages uniques dans leur espèce, en détruisent bien-tôt la mémoire : soit par la fausse & trop commune vanité des Plagiaires, qui s'attribuent impunément l'invention de ce qu'ils ont vu de merveilleux, lorsqu'on ne l'a pas donné au Public, sous le nom des Auteurs véritables. »⁴⁰

³⁸ La gravure montre même qu'il existe trois formats de livres collectionnés : in-folio, in-4° et in-8.

³⁹ Le texte original de l'*ex-dono* est en latin : « Donum illustri Mathematici D. Joannis Philiberti Ambert, qui Musaeum hoc Mathematicum multis, dum viveret machinis ornavit, & moriens libris bibliothecae suae locuplatevit anno 1712. ». Il est aussi possible que les jésuites aient placés volontairement quelques livres qui les intéressaient dans la salle des modèles, afin qu'ils fassent parti du legs ! Cependant, cela n'enlève rien à l'argument, les jésuites eux-mêmes mettront en effet à part les livres de machines pour les intégrer à leur musée de mathématiques (voir « L'observatoire et le musée de mathématiques », p. 148).

⁴⁰ Extrait de la « Préface » de Gaspard II GROLIER DE SERVIERES, *Recueil d'ouvrages curieux de mathématique et de*

De la même manière que chez Veranzio, le temps est invoqué comme un danger pour la réputation d'une collection d'inventions, et la publication comme un antidote. Mais la phrase révèle, chez le petit-fils de l'inventeur lyonnais, une fragilité toute particulière des modèles. Leur unicité, et le soin qu'ils réclament, nécessitent comme réponse une diffusion large de représentations de ces machines, qui attestent de leur existence et de leur paternité. Car c'est la paternité des inventions, c'est le fait que la collection soit issue non d'une manie perverse, mais d'un travail de conception personnel, qui fait toute la valeur du cabinet et qui justifie le catalogue :

« Car enfin tous les autres cabinets curieux, qu'on voit ailleurs, ne sont pour l'ordinaire remplis, que de quelques pièces rares, ramassées à prix d'argent ; & qui ne sont estimées que par leur antiquité, ou parce qu'elles viennent des païs éloignez, ou bien encore parce qu'elles sont des productions extraordinaires de la nature. Les personnes les plus riches peuvent se picquer d'avoir les plus beaux cabinets ; mais celui-ci ne tire son éclat, que du génie & de l'adresse de Monsieur de Servièrre, qui a seul inventé, & exécuté tout ce qu'on y voit. »⁴¹

Parmi « tout ce qu'on y voit », les machines sont de loin les pièces les plus importantes. En effet, autant le descendant de l'inventeur se contente d'« une explication simple » pour les objets de tour et les horloges, autant il estime nécessaire de « non seulement [donner] les figures des machines qui la composent ; mais encore [expliquer] le plus clairement qu'il [lui] sera possible ». Ces quelques passages montrent donc bien à quel point les machines sont des ouvrages qui diffèrent des curiosités habituelles, notamment en ce qu'elles n'ont littéralement pas de prix. Ni rares, ni anciennes, ni lointaines, ni à l'aspect extraordinaire, les machines n'ont de valeur que par leur inventeur, et ne peuvent être « ramassées à prix d'argent ». La conservation et la monstration des machines sont donc avant tout liées à la mémoire d'un *ingenium* passé, menacées par l'usure du temps et le fait que les plagiaires s'attribuent des machines.

Il ne faut pourtant pas oublier la première raison invoquée par Grolier, la « satisfaction & utilité du Public », car c'est elle qui non seulement justifie socialement l'existence du catalogue, mais façonne son écriture.

mécanique; ou, Description du cabinet de Monsieur Grolier de Servièrre., op. cit.

⁴¹ *Ibid.*

L'utilité des modèles et du catalogue

Être utile aux curieux

Plusieurs remarques de la préface de la *Description du cabinet de M. Grolier de Servières*, montrent que certains visiteurs trouvent de l'agrément à autre chose que la contemplation du génie de l'inventeur et qu'ils « aiment à s'occuper des productions ingénieuses des mathématiques » et « se feront un amusement agréable [de] rappeler les idées [du cabinet] ». C'est que le public visé est un public de curieux, dans le sens moderne du terme, tel que nous l'avons défini plus haut : un public de personnes ayant un désir d'apprendre.

Un autre événement met en évidence l'intérêt des machines pour ces nouveaux curieux : la première exposition de modèles de machines du monde. Organisée rue de la Harpe⁴², à Paris, par le chevalier Jean-Baptiste Picot avec l'appui du neveu de Colbert, le marquis de Blainville, cette exposition n'a duré que les quelques mois de l'été 1683, et ne fut pas recensée dans le *Journal des savants*. Un échec qui doit sans doute plus aux décès successifs de la reine et de Colbert qu'à un désintérêt du public et de la cour⁴³. Heureusement, son instigateur, Picot, en a donné un catalogue dès avant que l'exposition ne soit entièrement démontée⁴⁴.

L'exposition, ouvertement pédagogique, s'adresse à « des personnes qui ont l'intention de se perfectionner », à qui sont destinées des machines communes. Mais le public des curieux n'est pas oublié, et de nombreuses machines sont destinées à ceux « qui ont de l'intelligence & de la capacité sur ces matières » et à qui on présente, pour satisfaire la « curiosité », des machines « nouvelles & extraordinaires pour attirer leurs approbations ». La fin de la phrase laisse supposer qu'il s'agit là de savants de la cour,

⁴² En 1683, la rue de la Harpe occupait l'axe du boulevard Saint-Michel actuel. La localisation exacte « vis-à-vis Saint-Côme », placerait l'exposition dans un bâtiment situé sur la partie Est du boulevard, au niveau du croisement avec la rue des Écoles. Nous étions donc en plein quartier universitaire.

⁴³ Cette interprétation d'un silence sur l'exposition dans le *Journal des savants* et d'un échec global de l'exposition a été proposée dans Arthur BIREMBAUT, « L'exposition de modèles de machines à Paris, en 1683 », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1967, vol. 20, n° 2, pp. 141-158..

⁴⁴ Jean-Baptiste [PICOT], *Explication des modeles des machines et forces mouvantes que l'on expose à Paris dans la ruë de la Harpe, vis-à-vis Saint Cosme*, Paris, C. Guillery, 1683. (disponible à la BnF, dans le fond ancien de la bibliothèque du CNAM et en version numérique à la bibliothèque de la Sorbonne ; c'est cet exemplaire qui nous tient lieu ici de référence). Les citations suivantes sont tirées de ce catalogue.

sans doute membres l'Académie des sciences, institution qui avait le monopole de l'approbation officielle des inventions. L'auteur est en effet connu pour avoir déjà obtenu un privilège⁴⁵ pour une machine à élever les eaux et explique qu'il ajoutera aux modèles de son exposition des modèles dont le plan se trouverait dans le *Journal des sçavans*, journal avec lequel les académiciens entretiennent d'étroits rapports.

Ces savants curieux ne sont pas à confondre avec les « curieux aisés », expression qui introduit, chez Picot, une nouvelle division du public, qui n'oppose plus collectionneurs et amateurs de science mais deux classes sociales. Les « curieux aisés » seraient des courtisans et riches personnages, possédant des terres à mettre en valeur ou un capital à investir dans la construction « d'inventions très-utiles ». Sans avoir besoin « d'aller de Province en Province », ils « trouveront bien plus d'avantage & plus de seureté en examinent à loisir & à fond les modèles ». Cette catégorie s'oppose ici à la noblesse militaire, à laquelle s'adressent des engins de guerre, et aux artisans, auxquels Picot propose des tours et des machines pour améliorer leur art. Nous voyons par ces derniers exemples que c'est la notion d'utilité qui devient le principal critère de valorisation des machines, et en même temps la valeur principale d'une nouvelle morale, et Picot propose tout type de machines pour être utile aux différents clients.

Rappelons que l'utilité, à la fin du XVII^e siècle et au début du XVIII^e siècle, est un terme à connotation économique, qui désigne un avantage, un intérêt, bref, un profit qui suppose un investissement. Et c'est exactement ce que se proposent de faire les auteurs de catalogues quand ils présentent leurs collections : réaliser un investissement au profit du public. Picot ne dit-il pas sans ambages que « le public doit estre obligé [aux] auteurs [des machines nouvelles] du sacrifice qu'ils font pour son avantage de leurs inventions » ? Cette déclaration n'est pas si désintéressée qu'il n'y paraît, d'autant que la pudique expression « les auteurs » désigne soit des auteurs morts, soit Picot lui-même⁴⁶,

⁴⁵ Rappelons que, pour obtenir un privilège d'invention, il ne fallait pas seulement que la machine fût nouvelle, mais il fallait aussi qu'elle fût « utile » ; à propos des privilèges d'invention, lire Bernard DELAUNAY, *L'émergence de la technologie à travers les travaux de l'Académie des Sciences au début du XVIII^e siècle*, sous la direction d'Anne-Françoise Garçon, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 2009, 185 p.

⁴⁶ Sur 9 machines inventées par des contemporains, une seule n'est pas de Picot lui-même, avec une seconde, annoncée pour la suite de l'exposition et non cataloguée.

le terme « obligé » permettant de penser qu'il cherche ici à se positionner sur le marché des inventeurs⁴⁷.

Le catalogue : un outil de compréhension

La publication hâtive du catalogue de l'exposition et l'insistance de Grolier de Servières sur la nécessité de développer les explications des machines de son grand-père laissent penser que l'utilité des modèles ne réside pas uniquement dans la fonction des machines proposées. Les catalogues semblent avoir en effet un rôle majeur dans l'utilité apportée au public. Picot commence d'ailleurs son catalogue par ces mots : « l'explication des machines et des forces mouvantes doit estre considérée, comme une affaire sérieuse, importante & très-utile au public ». Quant à Gaspard II, l'importance qu'il donne à cette « aile de parole écrite », pour reprendre l'expression d'Ambroise Bachot⁴⁸, est particulièrement visible dans son aveu d'expliquer les machines contre le souhait de son grand-père de « laisser deviner [les] personnes curieuses », et cela au nom de l'utilité que pourrait en tirer le public⁴⁹.

Les catalogues, avec leurs explications, sont donc une part entière du dispositif des collections de modèles et de la justification de leur existence. Une pédagogie se fait alors jour qui comprend deux points principaux : le choix des machines et la rédaction de leurs explications. Or, nous le verrons, dans les deux cas, les théâtres de machines demeurent des références incontournables.

Le choix des machines présentées d'abord. Nous avons vu que Grolier comme Picot présente des inventions personnelles et donc relativement récentes, mais cela ne suffit pas, car il s'agit non seulement de satisfaire « toutes les personnes de quelque qualité qu'elles puissent être », mais aussi et surtout de tenir compte de la disparité des savoirs mécaniques acquis par le public, « la diversité des esprits » comme dit Picot⁵⁰. C'est

⁴⁷ Ce calcul lui coûta beaucoup du fait de la mort de Colbert et de la disgrâce de son neveu le marquis de Blainville, commanditaire de l'exposition : Arthur BIREMBAUT, « L'exposition de modèles de machines à Paris, en 1683 », *op. cit.*

⁴⁸ « Dédicace à Jean-Louis de Nogaret » dans Ambroise BACHOT, *Le Timon*, Paris, 1587.

⁴⁹ Gaspard II Grolier DE SERVIERES, *Recueil d'ouvrages curieux de mathématique et de mécanique; ou, Description du cabinet de Monsieur Grolier de Servière.*, *op. cit.*

⁵⁰ Jean-Baptiste [PICOT], *Explication des modeles des machines et forces mouvantes que l'on expose à Paris dans la ruë de la Harpe, vis-à-vis Saint Cosme*, *op. cit.*

pourquoi l'exposition opte pour un panachage équilibré des types de machines⁵¹, alternant, dans un but pédagogique, des machines « en usage & communes, pour servir d'exemples démonstratifs » avec d'autres « nouvelles et extraordinaires ». Les douze machines (sur 22) issues des théâtres de machines les plus connus en France (Besson, Ramelli, Caus, Strada et Böckler) constituent, avec une catapulte romaine, l'ensemble de la première catégorie. La seconde désigne principalement les inventions de Picot lui-même et une machine inventée par un certain M. Tarragon.

La tradition des théâtres de machines demeure donc, dans cette fin de siècle, une référence incontournable à toute présentation de machines, mais elle n'est pas exempte de critique pour autant :

« Les auteurs anciens & modernes ont proposé assez de belles Machines dans leurs écrits ; mais les premiers nous ayant laissé leurs idées par des desseins sans proportion, & les autres dérochant toujours quelque chose à la réalité de leurs Essais, on s'est attaché à bien interpréter les uns, & à bien examiner les autres. »⁵²

La critique ne porte ici ni sur le plagiat, ni sur la pertinence scientifique, ni sur le fonctionnement de la machine⁵³, mais sur le manque de proportions de dessins, et donc la difficulté à reproduire la machine sous forme de modèle. En fait, la logique renaissante de l'invention est toujours à l'œuvre. Devenus des « anciens »⁵⁴, les auteurs des théâtres de machines doivent être interprétés et fournissent donc une assise aux nouvelles inventions, la garantie d'un *ingenium* bien ordonné. La manœuvre est habile. En effet, en insistant sur la complexité de la tâche, sa résolution donne un certain prestige au présentateur de l'exposition, qui vient asseoir son autorité et augmente les possibilités de voir son invention reconnue. En un mot, les théâtres de machines agissent ici comme des autorités en matière de mécanique.

⁵¹ Un tiers de machines militaires, un tiers de tours, grues et meules, un tiers de machines à élever l'eau, auxquelles il faut rajouter un instrument de mesure des marrées. Ces machines sont pour les trois cinquièmes issues d'ouvrages anciens et, pour les deux cinquièmes, d'inventeurs vivants.

⁵² « Préface » à Jean-Baptiste [PICOT], *Explication des modeles des machines et forces mouvantes que l'on expose à Paris dans la ruë de la Harpe, vis-à-vis Saint Cosme*, op. cit.

⁵³ Il est cependant probable que chaque machine ait fait l'objet d'une sélection selon le critère d'utilité tant mis en avant par l'auteur. Pour toutes les critiques qu'ont essuyées les théâtres de machines, voir Luisa DOLZA et Hélène VERIN, « Figurer la mécanique », op. cit..

⁵⁴ Aucune mention n'est faite des habituelles références antiques : Vitruve, Archimède, Héron, Euclide.

L'influence des théâtres de machines est aussi bien visible sur le mode d'explication choisi. Celui-ci ne tient pas d'un exposé général des principes de la mécanique, mais d'une description accompagnant les figures des machines présentées. Or la majorité du texte consiste en une description suivant le chemin cinématique. Un mode descriptif qui, partant du moteur et décrivant l'ensemble des transformations/transmissions du mouvement jusqu'à la partie instrumentale de la machine, a été popularisé par les théâtres de machines⁵⁵, et que nous retrouvons avec toute sa vigueur dans la *Description du cabinet de M. Grolier de Servières* de 1719 :

« Le courant de la rivière faisant tourner la grande rouë N au moïen des aïles ou obes qu'elle a à sa circonférence, les deux coudes L. M. de son axes se baissent & s'élèvent alternativement, & comme les cordes K. par lesquelles ils répondent au petit tambour G. sont entortillées en deux sens opposez, suivant que ces cordes se baissent ou s'élèvent ils font tourner l'arbre de différent sens, etc. »⁵⁶

Les illustrations des catalogues témoignent cependant d'un souci d'épuration par rapport aux théâtres de machines antérieurs. Cela est déjà visible dans les images du catalogue de Servières où seuls sont représentés le bâti des machines et quelques éléments de décor nécessaires à la compréhension de la machine. Cependant, c'est sans doute Picot qui fait le choix le plus tranché dans ce domaine, en présentant des images qui ressemblent à des schémas en perspective, parfois si simplifiées qu'elles en deviennent fausses, comme ici la planche 12 représentant une machine inventée par Besson et sur laquelle la rampe MP ne repose pas sur le « limaçon »⁵⁷ LFI comme il le devrait.

Cette épuration générale des images s'explique d'abord par l'aspect bien moins courtisan des catalogues par rapport aux théâtres de machines. La référence au modèle suspend aussi l'intérêt de placer la machine dans un contexte de fonctionnement. Objet d'exposition, le modèle est ce qui est décrit par le catalogue. C'est aussi et surtout un mouvement général qui vise à ne montrer que les parties nécessaires d'une machine,

⁵⁵ Voir « Chapitre 1 : Pourquoi publier un livre de machines ? (1569-1629) », note 66, p. 51.

⁵⁶ Extrait de l'explication de la figure 50 de Gaspard II GROLLIER DE SERVIERES, *Recueil d'ouvrages curieux de mathématique et de mécanique, ou Description du cabinet de Monsieur Grolier de Servière*, Lyon, David Forey, 1719., p. 25.

⁵⁷ Le terme est de Jacques Besson et désigne la rampe incurvée sur laquelle devrait reposer le balancier.

rejetant le reste comme inutile, voire gênant pour la bonne compréhension de la machine. Bref, l'aspect pédagogique a pris le pas sur l'aspect contextuel de l'image.

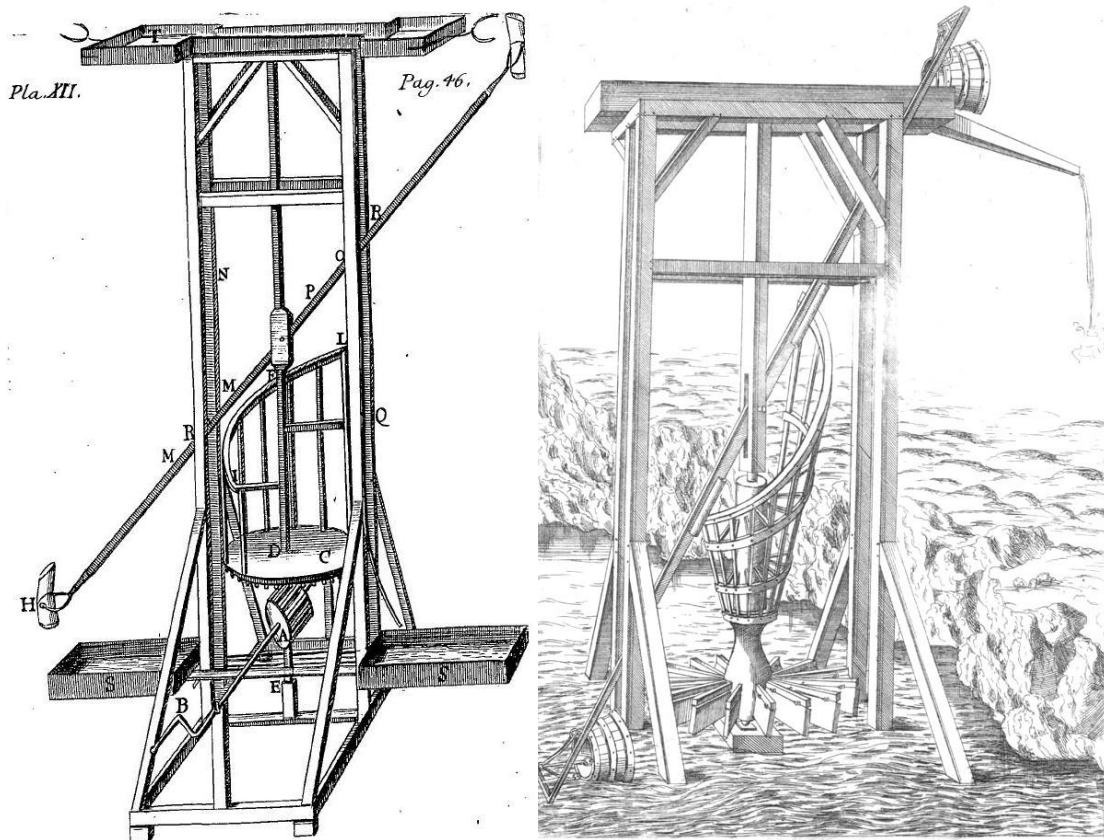


Figure 7 : « Pour élever l'Eau pour arroser des Prairies & pour d'autres usages. Besson. Planche 12 de [Jean-Baptiste Picot], *Explication des modeles des machines et forces mouvantes que l'on expose à Paris* (Paris, 1683) ; et planche 46 de Jacques Besson, *Theatrum instrumentorum et machinarum* (Lyon [Genève], 1578

Cependant, si l'esthétique est différente, l'idée de stimulation de l'inventivité, dont nous verrons ce qu'elle doit aux théâtres de machines⁵⁸, garde ici toute sa valeur. En effet, au détour de ses explications, le catalogue de Picot invite le lecteur à adapter tel ou tel mécanisme : « les esprits ingénieux, en voyant [le modèle], pourront faire l'application du mouvement des pilons à quelqu'autre machine utile et moins ordinaire ». Les lecteurs peuvent donc, en suivant la description du modèle dans le catalogue, repérer et

⁵⁸ Voir *infra* « Chapitre 7 : Ordonner l'invention : la topique inventive », p. 232.

reproduire certains assemblages qui peuvent leur être utiles sur des machines de leur invention.

Le modèle : entre pédagogie et conception

Le rôle prépondérant des catalogues pose ici en creux la question de l'utilité des modèles. Question d'autant plus pressante que les critiques concernant la validité des modèles, remontant à Galilée, sont reprises par de nombreux savants tout au long du XVII^e siècle⁵⁹, auxquels les historiens souscrivent volontiers. Cette critique se comprend dans l'idée, dominante, que l'utilité des modèles vient de leur rôle pour des expérimentations en petit, sur le modèle de nos souffleries dans l'aviation. Ce n'est pourtant pas le point de vue de Picot, qui déploie une argumentation très favorable à l'usage des modèles en défendant et limitant leur utilité⁶⁰. Cette défense, à regarder l'enrichissement des collections de modèles de machines à partir de la fin du XVIII^e siècle, semble porter ses fruits.

Tout l'argumentaire de Picot peut se résumer dans la phrase qu'il utilise dès le début de sa préface : « C'est une voye démonstrative, qui enseigne par la seule inspection & qui détermine par l'expérience réelle & effective. ». Démonstratif d'abord, le choix de Picot l'est en effet, au sens ancien du terme : « qui montre ». Il s'agit en effet d'abord de rendre sensible les machines, de permettre une observation complète des parties de la machine en mouvement. Et les promoteurs de l'exposition ne semblent pas lésiner sur les moyens : ils montrent des « modèles à six pieds d'hauteur de toutes les machines, & autres inventions [...] construits de bois, de fer & de cuivre [...] avec une échelle de proportion ». Six pieds de haut, c'est-à-dire environ 1 m 80, le tout avec divers matériaux ; ce ne sont pas là de petites maquettes. Il faut toutefois faire attention à cette remarque, car c'est le châssis des modèles sont tous placés dans un châssis qui mesure six pieds de haut. Les modèles sont en réalité proportionnés à une échelle variant de 1/4 à 1/8, ramenant, par exemple, le modèle de la machine de la figure ci-dessous à une taille d'environ deux pieds de longueur sur un de hauteur (64 x 32 cm). Par ailleurs, Picot note

⁵⁹ Hélène Vérin et Jacques Guillerme, « Formes et forces : résistance des matériaux » dans Jacques GUILLERME, Valérie NEGRE et Hélène VERIN, *L'art du projet : histoire, technique et architecture*, Wavre (Belgique), Mardaga, 2008.

⁶⁰ Pour le cabinet des Grollier, les modèles sont un donné, un héritage issu du loisir d'un aïeul, il n'y a pas à défendre leur existence. Tel n'est pas le cas de l'exposition de 1683, qui doit défendre ses frais.

souvent une disparité entre le châssis et certaines parties de la machine, comme ici :
 « Les proportions sont à l'égard du mouvement [c'est-à-dire les roues dentées] d'un à six,
 & à l'égard du bois du châssis mobile, d'un à huit pour la longueur seulement, & d'un à
 cinq pour les largeurs et épaisseurs. » Un jeu qui s'explique sans doute par les
 contraintes de place (châssis plus petit) et la volonté de mettre en valeur le mécanisme
 principal, le « mouvement » (plus grand).

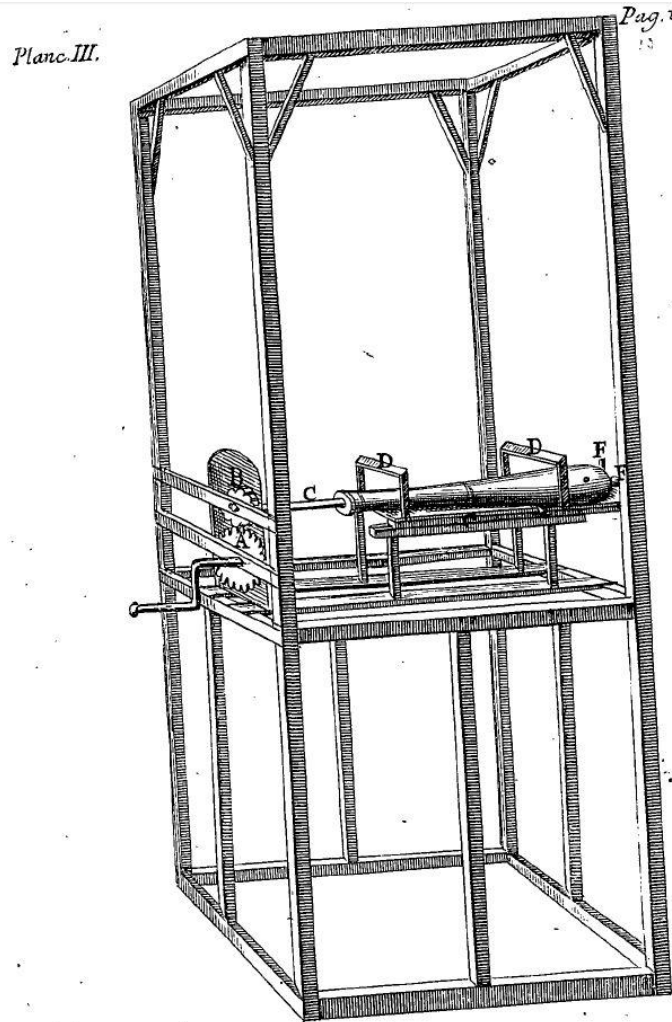


Figure 8 : « Moulin pour percer des tuyaux de bois, ou pour arrondir l'âme des canons nouvellement fabriqués. Salomon de Caux », planche 3 de [Jean-Baptiste Picot], *Explication des modèles des machines et forces mouvantes* (Paris, 1683)

L'aspect pédagogique des modèles « qui enseigne[nt] par la seule inspection » fait lui aussi l'objet d'une distinction entre les modèles anciens, choisis pour leur simplicité, et les machines nouvelles « si belles, si curieuses & si utiles » qu'elles sont « rangé[e]z les

un[es] auprès les autres à une distance suffisante pour laisser aux mouvements la liberté d'agir ». Il s'agit bien évidemment de mettre en valeur les inventions de Picot, mais aussi de permettre la lisibilité des machines estimées les plus complexes. La pédagogie du modèle est toute entière tournée vers la monstration des mécanismes de transmission, ces « principes des forces mouvantes, lesquelles sont l'« âme de toutes les machines ».

C'est donc par ce biais que Picot défend l'aspect le plus problématique de sa justification des modèles : le fait de considérer les modèles comme des « expérience[s] réelle[s] & effective[s] ». Picot ne nie pas « qu'il est possible qu'une machine fasse son effet en petit, & non pas lors qu'elle sera dans une grandeur plus considérable », et souscrit même à cette critique savante, en expliquant le différentiel de puissance nécessaire. Mais pour lui, le problème ne réside pas là, puisqu'en augmentant la force, on finit par obtenir l'effet escompté. Le principal est que le « principe », l'agencement de la machine, soit juste. D'ailleurs, Picot, pour faciliter la lecture du modèle remplace les roues à eau par des manivelles actionnées par les visiteurs. La critique est donc très précisément circonscrite et le modèle apparaît comme la concrétisation d'un projet dessiné en deux dimensions, une expérience réalisée afin de vérifier l'agencement des pièces.

Cet usage des modèles comme une sorte de complément plus lisible du dessin est sans doute majoritaire pendant la période. Ainsi, les académiciens limitaient de la même façon l'intérêt des modèles, mais sans le renier en bloc :

« enfin il semble qu'on ait pourvu à tous les inconvénients qui pouvaient se présenter dans un modèle mais il n'y a que l'expérience faite en grand qui puisse déterminer au juste sa force et la vitesse qu'elle peut avoir relativement aux fardeaux auxquels elle sera appliquée. Ce que nous pouvons seulement dire sur l'inspection du modèle c'est que la machine est très ingénieusement imaginée et qu'elle montre que l'auteur a beaucoup de connaissance des forces mouvantes. »⁶¹

Picot prend lui-même l'exemple de la machine de Marly, la plus grande machine hydraulique à élever l'eau de l'époque, pour asseoir son idée qu'un modèle peut être une preuve, tant que l'organisation des forces mouvantes n'est pas remise en cause. Il

⁶¹ Archives de l'Académie royale des sciences (AADS), registre de séance (R) séance du 26 février 1729. Cité dans Bernard Delaunay, « La scientificité de la pensée technique chez François Russo », *Bulletin de la SABIX*, n°52, à paraître 2013.

explique en effet que lorsqu'Arnold de Ville échoua à faire mouvoir son modèle à Saint-Maur, ce n'était « non pas par le défaut de son invention & de son intelligence, mais par le manquement de force, n'ayant pas assez d'eau pour donner le mouvement à la rouë ». L'expérience ayant réussi plus tard à Saint-Germain-en-Laye sur la Seine, le chantier fut lancé⁶² et le premier échec n'enleva rien ni à la gloire de de Ville, ni à la réussite de son invention. Le modèle peut donc agir comme preuve de l'*ingenium* de l'inventeur, et de là, comme aide à la conception, comme le laissent entendre les appels à adapter les mécanismes à d'autres machines.

Que ce soit concernant l'exposition ou les cabinets, la démarche de la collection spécialisée de modèles de machines est plus proche de celle d'un Veranzio (légitimer des inventions et un inventeur) que de celle des possesseurs de cabinets de curiosités, dans lesquels les machines non ludiques étaient finalement assez rares et tendaient à disparaître. L'*ingenium* du possesseur, la conception de la machine, priment sur la matérialité du modèle, et l'influence des théâtres de machines ne se cantonne pas à la façon de présenter les inventions, mais se développe au sein même de l'exercice de conception. Protégées par l'utilité affichée de la démarche, ces collections spécialisées non seulement ne sont pas menacées par les critiques qui visent les collectionneurs, mais y participent activement.

Le rôle pédagogique des modèles se développe ensuite pendant tout le XVIII^e siècle, accompagnant l'essor des collections d'instruments scientifiques⁶³, et reproduisant l'évolution qu'avaient déjà connus les théâtres de machines. Là encore, l'image du cabinet de Sébastien Le Clerc nous renseigne sur les liens entre ces glissements. Outre les objets disposés en désordre au premier plan⁶⁴, les machines disposées en ordre sur les étagères témoignent d'une visée directement pédagogique. Il s'agit de machines simples et peu composées, exposant les différents principes de base de la *statique* : (1) la

⁶² Le catalogue de l'exposition rue de la Harpe est rédigé en 1683. Le chantier de la machine de Marly, commencé en 1681, ne sera achevé qu'en 1684.

⁶³ Un colloque a eu lieu récemment sur ce thème : Ana CARDOSO DE MATOS, Marie-Sophie CORCY, Christiane DEMEULENAERE-DOUYERE et Irina GOUZEVITCH (dirs.), *Colloque « Cabinets de curiosités, collections techniques et musées d'arts et métiers : origines, mutations et usages, des Lumières à la Seconde Guerre mondiale » (actes non parus)*, CNAM, 2011.

⁶⁴ Parmi lesquels nous distinguons une roue à livre selon le modèle de Grolier en bas à gauche, et un dispositif d'optique ressemblant à celui de Besson en bas à droite. Voir notre analyse de ces deux objets : « Des topiques différenciées », p. 244 et suivantes.

multiplication des poulies, (2) des leviers, et (3) des roues dentées ; (4) le calcul des leviers, (5) celui du plan incliné, (6) une vis d'Archimède, (7) des chèvres, (8) une manivelle à vis sans fin, et (9) un arbre à cames.

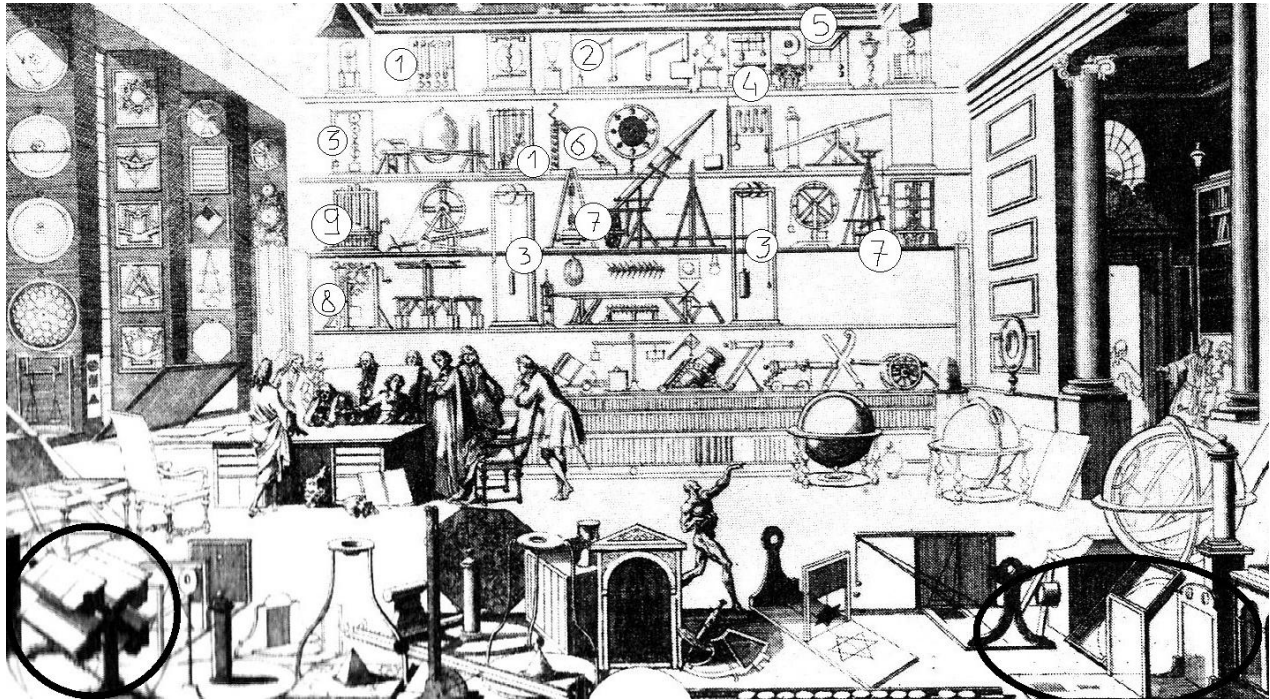


Figure 9 : Sébastien Le Clerc, *Cabinet de l'artiste*, 1711, Bibliothèque nationale de France

Ce glissement vers une simplification des machines présentées dans l'idée de favoriser l'enseignement de la mécanique qui se développe influe sans aucun doute sur la lecture des références que sont devenus les premiers théâtres de machines. Leur rôle bascule alors vers un usage de plus en plus pédagogique, au moment où émergent des institutions de formations d'ingénieurs. Après leur aspect de collection et de modèle de l'invention, ce nouvel aspect d'un usage dans l'enseignement fait l'objet du dernier chapitre de cette partie.

Chapitre 4 : Enseigner avec les théâtres de machines

À la fin du XVII^e siècle, l'Europe savante connaît un renouvellement de l'intérêt pour la mécanique, et une certaine institutionnalisation de ces matières se fait jour. Si les recherches sur l'enseignement technique à l'époque moderne font rarement mention de cet intérêt pour la mécanique, c'est qu'il est voilé par certains intitulés. Peu de cours de machines ou de mécanique voient le jour avant le XIX^e siècle, et les manuels sont rares. Cela explique que l'histoire de l'enseignement des mathématiques a trop peu souvent fait attention à ce qu'on appelle les « mathématiques mixtes », rarement détaillées dans les programmes.

Or, pour les mathématiciens et inventeurs du XVII^e siècle, les théâtres de machines sont des ouvrages de référence, et ce, jusqu'au Mexique¹. D'ailleurs, cette notoriété conduit l'Académie royale des sciences à juger de la nouveauté d'une invention qui leur est présentée, en regardant si elle n'existe pas déjà dans le Ramelli ou le Besson : « nous n'avons pas trouvé que la machine fut nouvelle, étant dans le Ramelli »². Il est donc évident que si un enseignement de mécanique se fait jour, les théâtres de machines devraient y jouer un rôle.

Ainsi, en cherchant l'impact de ce corpus sur un enseignement de mécanique, notre démarche fut différente de celle de la plupart des chercheurs. Plutôt que de chercher les programmes et les cours dans les archives des congrégations religieuses ou des institutions dont relèvent les établissements de formation³, nous avons cherché dans les

¹ Elias Trabulse, historien des sciences du Mexique, montre par ailleurs que l'édition espagnole du livre de Besson était aussi connue et utilisée par les mathématiciens, astronomes et ingénieurs du XVII^e siècle mexicain, de même que son livre sur le cosmolabe. Voir Elias Trabulse, *Los orígenes de la ciencia moderna en México (1630-1680)*, Fondo de cultura económica, 1994, p.148, 181 et une note p. 266.

² Registre de séance de l'Académie royale des sciences du 28 août 1717 (disponible à la salle des archives de l'Académie des sciences, cité dans Bernard DELAUNAY, « L'émergence de la technologie... », *op. cit.*. La mention de Ramelli ou Besson renforce l'idée qu'en France, ces deux théâtres ont été de loin les plus connus et pratiqués.

³ Voir notamment, pour les très bons résultats qu'ont pu donner une telle recherche : Antonella ROMANO, *La Contre-Réforme mathématique : constitution et diffusion d'une culture mathématique jésuite à la Renaissance, 1540-1640*, Rome, Ecole française de Rome, 1999.

collections des bibliothèques ayant hérité de ces établissements la présence de livres de mécanique et de théâtres de machines. De là, soit par l'étude des exemplaires, soit par l'analyse des archives se rapportant à ces fonds de bibliothèque, nous avons cherché à comprendre les modes et le contexte d'acquisition des différents ouvrages, voire leur usage. Cette démarche favorise une approche externe de la question de l'enseignement mécanique, les précisions sur le contenu exact des cours étant trop minces. Il s'agit alors moins de redessiner le dispositif global d'enseignement de la mécanique tel qu'il se dessine au XVIII^e siècle, que de montrer comment les théâtres de machines s'insèrent dans cette organisation.

Deux exemples nous ont semblé particulièrement significatifs : le collège de la Trinité à Lyon ; et les bibliothèques des écoles d'ingénieurs d'État françaises (Polytechnique, Mines et Ponts). Pour tous ces établissements, l'enseignement des mathématiques fut un souci constant, et la présence de collections significatives de théâtres de machines nous permettent de témoigner de la longévité de la réception de ces ouvrages, y compris dans un contexte savant.

Les mathématiques mixtes au collège de la Trinité à Lyon

Au début du XVI^e siècle, la ville de Lyon est la plus riche et la plus cosmopolite du royaume. S'y retrouvent français, suisses, savoyards, italiens, allemands, et espagnols remontant le Rhône pour faire la jonction avec l'empire des Habsbourg. Puissante économiquement, la ville est politiquement faible : sans parlement, ni grande noblesse, c'est une ville de négociants et de banquiers, en grande partie anoblis à la fin du XV^e siècle, et qui cherchent à donner à leurs enfants une éducation leur permettant soit d'engager une carrière libérale, soit de reprendre les affaires commerciales de la ville. C'est dans cette optique qu'en 1519, le consulat de la ville fonde le collège de la Trinité, dont « l'histoire [...] est inséparable de l'histoire générale de Lyon »⁴. Directement municipale pendant un demi-siècle, la gestion du collège, dont les professeurs humanistes étaient réputés trop proches de la Réforme calviniste, ne revient aux jésuites qu'en 1565, après la reprise de la ville aux Protestants ; et encore la ville demeure-t-elle

⁴ Georgette de GROËR, *Réforme et Contre-Réforme en France : le collège de la Trinité au XVI^e siècle à Lyon*, Paris, Publisud, 1995, 259 p.

propriétaire de l'institution. Il ne s'agit donc pas d'un collège jésuite proprement dit, mais d'un collège municipal, géré par les jésuites.

Dès sa création, le collège met à l'honneur les mathématiques, ne serait-ce que pour la comptabilité ; une tradition que les jésuites reprendront à leur compte en mettant en place une classe spécifique de mathématiques dès 1568, alors que les collèges de Paris, Pont-à-Mousson et Avignon n'instituent de telle classe que vingt ans plus tard⁵. Avec l'ouverture de la classe de physique dès 1576, cela garantit un enseignement scientifique qui demeurera la marque du collège jusqu'à l'expulsion des jésuites du royaume en 1763.

Au XVII^e siècle, le collège propose, en plus de la comptabilité et de la géométrie, des enseignements de mathématiques pratiques, en suivant les tendances du Grand Siècle : la navigation, puis sans doute la mécanique à partir du début du XVIII^e siècle. Cependant, si les intitulés des chaires (physique, astronomie, mathématiques, hydrographie) et les noms de certains célèbres professeurs (François Milliet de Challes, Paul Hoste⁶) ne laissent aucun doute sur la réalité de ces enseignements, peu de traces nous permettent d'en définir les contours, si ce n'est peut-être le contenu de la grande bibliothèque du collège, réputée dans toute l'Europe.

La bibliothèque

Celle-ci, créée avec le collège, prend son essor avec le don d'Henri III au directeur du collège, son confesseur le père Auger⁷, de 1500 volumes. Elle garde tout au long de la période moderne la faveur des monarques français, dont Louis XIV, par l'intermédiaire là encore de son confesseur, le père de la Chaize, enseignant à Lyon et responsable de la bibliothèque. Enrichie de nombreux dons et dotée d'un généreux financement par le consulat de la ville, la bibliothèque possédait, lors de son inventaire en 1762, pas moins de 45 000 volumes. Elle était prisée des savants de l'Europe, et faisait l'objet de visites régulières. Cet important fond ne formait pourtant pas une bibliothèque publique et

⁵ Antonella ROMANO, *La Contre-Réforme mathématique*, op. cit.

⁶ D'autres professeurs, moins célèbres enseignaient les sciences : Honoré Fabri, Vincent Léotaud, François de Saint-Rigaud, François de la Chaize, Jean Berthet. Ce cercle de chercheurs jésuites était en lien avec les Huygens, avec Descartes, Mersenne, Gassendi et jusqu'à Leibniz. Voir André RAVIER (S.J.), *Un collège de jésuites aux XVII^e et XVIII^e siècles : Le collège de la Très Sainte Trinité de Lyon*, 1948.

⁷ En 1569, le père Auger est déjà au côté d'Henri d'Anjou en tant qu'aumônier des armées. Il y a sans doute rencontré le très catholique capitaine Agostino Ramelli.

pédagogique à l'usage des élèves, mais un lieu d'étude privé et un outil précieux pour les professeurs⁸. La bibliothèque était parfois ouverte aux visiteurs, sur autorisation du bibliothécaire. Une obligation qui s'appliquait aussi aux élèves : seuls certains d'entre eux, poussant leur études jusqu'à un niveau supérieur, étaient susceptibles d'avoir accès à ces livres. L'importance des livres de mathématiques témoignent de l'existence d'un cercle de savants, très intéressés par les sciences, et notamment les mathématiques mixtes. Ces derniers profitent alors de liens très étroits avec l'archevêque de Lyon.

Camille de Neufville de Villeroy est, dans la seconde moitié du XVII^e siècle, le personnage le plus important de toute la région lyonnaise. Fils de l'ambassadeur du roi à Rome, il naît en 1606. Fait abbé d'Ainay et de l'Ile-Barbe (deux grandes abbayes lyonnaises) à 11 ans, il est destiné à une carrière ecclésiastique. Ayant fait sa théologie en Sorbonne, il devient archevêque de Lyon en 1653, peu après que son frère aîné lui ait abandonné le titre de gouverneur du lyonnais. Pendant quarante ans, cet érudit est le souverain temporel et spirituel de la ville et de sa région.

⁸ Yves Jocteur-Montrosier, « Des Jésuites et de la bibliothèque municipale de Lyon », in Etienne Fouilloux et Bernard Hours (dir.), *Les Jésuites à Lyon XVIe-XXe siècles* (Lyon : ENS Editions, 2005), pp. 95-209.



Figure 10 : Actuel lycée Ampère et annexes, anciens bâtiments du collège de la Trinité et de la bibliothèque de Camille de Neufville

Sa bibliothèque est à la mesure de son emprise sur la ville. Or celle-ci est installée en face du collège de la Trinité, suite à l'achat de nombreux terrains attenants au collège. Deux galeries surplombent encore l'ancienne rue Neuve (actuel passage Menestrier) pour permettre la jonction entre les bâtiments du collège et ceux de la bibliothèque de l'archevêque (voir Figure 10 : p. 141). Que l'archevêque autorise les pères jésuites à consulter sa bibliothèque, cela semble évident. Mais la collaboration va sans doute plus loin encore. À sa mort, en 1693, Camille de Neufville lègue la totalité des volumes et des bâtiments au collège ; un legs préparé sans doute de longue date, les professeurs conseillant sans doute l'archevêque dans le choix de ses livres. Il n'est donc pas surprenant de voir de nombreux livres de mathématiques dans le fond Neufville, et notamment plusieurs théâtres de machines : l'édition espagnole (et/ou italienne) du *Théâtre des instruments* de Jacques Besson, *Les Raisons des forces mouvantes* de

Salomon de Caus, le *Theatrum machinarum novum* de Böckler⁹, et sans doute un exemplaire des *Diverses et artificieuses machines* de Ramelli¹⁰.

Cette première collection de théâtres de machines est complétée par d'autres acquisitions au cours du XVIII^e siècle. Dans le catalogue de la bibliothèque du collège¹¹, nous trouvons, en plus des livres acquis par le legs de l'archevêque, le *Livre premier des instruments* (1572) de Besson, les *Machinae Novae* de Veranzio¹², un deuxième exemplaire des *Raisons des forces mouvantes* de Salomon de Caus, et au moins un exemplaire du Ramelli. Enfin, dans le *Catalogue des livres doubles produits par la réunion de la bibliothèque publique de Lyon, avec celle du Grand Collège*¹³, nous retrouvons le Ramelli, par ailleurs vanté dans la préface et le Böckler¹⁴.

Au final, c'est six à sept exemplaires de théâtres de machines que possédait la bibliothèque du collège dès les premières décennies du XVIII^e siècle¹⁵, avec une concentration particulière autour des auteurs français les plus connus : Jacques Besson, Agostino Ramelli et Salomon de Caus. La taille et la cohérence de la collection de livres de machines montrent qu'il y avait là un véritable intérêt pour ce type de livres. Les professeurs s'en servaient sans doute pour leurs recherches personnelles, voire pour la construction de certains cours du début du XVIII^e siècle, comme pourrait le laisser penser

⁹ Daniel REGNIER-ROUX et Jean DHOMBRES, « La « Bibliotheca mathematica » de Camille de Neufville de Villeroy », à paraître. Nous remercions les auteurs de nous avoir fourni leur tapuscrit. Le doute quant à l'édition de Besson ayant appartenu à Camille de Neufville vient de ce que le catalogue indique un « Theatro Mathematico di Jacopo Bessonj in Lione 1582 », mais que c'est l'édition espagnole (1602, dite de Diego Besson) qui possède actuellement l'ex-libris de Camille de Neufville. Sur la bibliothèque de Camille de Neufville lire aussi : Daniel REGNIER-ROUX, « Des livres et un recueil de dessins d'architecture dans la bibliothèque de Camille de Neufville de Villeroy », in *Le Recueil de Lyon. Jacques Ier Androuet du Cerceau et son entourage*, Saint-Etienne, PU-Saint-Etienne, 2010, .

¹⁰ L'inventaire de la bibliothèque ne mentionne pas de livre de Ramelli, mais l'exemplaire de la bibliothèque municipale possède un ex-libris d'un dénommé Colignon, dont Camille de Neufville possédait un autre ouvrage. Il est probable que l'évêque ait acheté à ce dénommé Colignon tous ses livres de mathématiques, surtout un livre aussi connu que le Ramelli.

¹¹ *Catalogue de la bibliothèque du grand collège de Lyon*, Bibliothèque municipale de Lyon, ms 1459. Le manuscrit n'est pas daté, mais il a sans doute été rédigé entre 1763, date de l'expulsion des jésuites du collège et 1767, date de la réunion de la bibliothèque du collège et de celle de la ville. Cette période est en effet riche en inventaires et catalogues des biens et collections du collège.

¹² Il s'agit sans doute des deux acquisitions issues du leg de Jean-Philibert Ambert en 1712. Voir p. 129.

¹³ *Catalogue des livres doubles produits par la réunion de la bibliothèque publique de Lyon, avec celle du grand collège de la même ville, & autres, dont la vente sera faite en détail & au plus offrant*, bibliothèque municipale de Lyon, cote 371371 (14), 1767.

¹⁴ Voir *infra* « Théâtres de machines dans les collections d'amateurs des XVII^e et XVIII^e siècle », p. 116.

¹⁵ Les legs de Camille de Neufville (1693) et de Jean-Philibert Ambert (1712) concernent à eux seuls 5 exemplaires. Par ailleurs, l'absence totale des livres de Leupold dans les collections du collège témoignent sans doute d'un abandon de l'intérêt pour la littérature mécanique illustrée au cours du XVIII^e siècle.

la volonté de ne pas vendre le Besson ou le Salomon de Caus, pourtant en double exemplaire en 1767.

Demeure la question de savoir si ces livres ont été utilisés dans le cadre d'un enseignement institutionnalisé, et de façon plus générale, d'en comprendre l'emploi dans le cadre du collège de la Trinité.

L'observatoire et le musée de mathématiques

À la fin du XVII^e siècle et sans doute encore au début du XVIII^e siècle, le collège abrite un cercle de savants intéressés par les sciences, et en particulier par les mathématiques¹⁶. Outre l'acquisition de livres, cet intérêt se traduit par la constitution de nouveaux espaces de recherche. Ces lieux savants sont aussi des lieux d'enseignement spécialisés, délivrés à quelques élèves doués et intéressés par le domaine. Ainsi en était-il de Lalande, qui témoigne s'être passionné pour l'astronomie pendant les cours spécialisés du père Béraud à l'observatoire du collège de la Trinité¹⁷.

Construit en 1701, sur le conseil des Cassini, l'observatoire est donc autant un lieu d'observation scientifique que d'enseignement, et c'est dans ce lieu que nous trouvons une nouvelle trace d'un enseignement de mécanique. Son inventaire, dressé en 1764¹⁸, décrit l'intérieur de la tour carrée attenante à la chapelle. Nous y trouvons entre autres deux salles. La première comprend « un tour ancien avec ses outils, une meule à aiguiser, une table, deux mouvements de mécanique, l'un en fer, l'autre en bois, differens bassins pour façonner des verres objectifs et oculaires, le tout en très mauvais état ». Elle est vraisemblablement destinée à réparer ou à construire des outils, des petites pièces, des horloges (les « mouvements mécaniques »), et des verres pour les lunettes de l'observatoire et des professeurs.

La seconde salle est décrite comme une sorte de cabinet, comprenant huit armoires : « Architectonica, mechanica, animalia, optica, geometrica, astronomica, hydrolica,

¹⁶ Voir André RAVIER (S.J.), *Un collège de jésuites aux XVII^e et XVIII^e siècles*, op. cit.

¹⁷ « Chapitre XVI : Enseignement scientifique et littéraire (1700-1750) » dans *Ibid.*

¹⁸ *Inventaire de l'observatoire du collège de la Trinité*, 7 janvier 1764. Archives départementales du Rhône, section ancienne, pièce 2D65.

terrestria », dont le contenu est détaillé et évalué. Les armoires de géométrie, de mécanique et d'hydraulique, contiennent ensemble plus d'une quinzaine de modèles :

« Dans l'armoire « mechanica » avons trouvé plusieurs modèles en bois tels qu'un modèle de vaisseau, deux modèles de gruë, un modèle de bascule pour puiser l'eau dans un réservoir. 2° quatre petits modèles en bois de machines mécaniques. 3° un modèle en cuivre de rouës dentées en petit. 4° trois petites colonnes joliment travaillées au tour. 5° une machine en bois pour démontrer la communication du mouvement à plusieurs globules rangés en file. 6° trois petits modèles en bois de machines communes. 7° une vis en fer à trois branches. Dans l'armoire « geometrica » [...] 14° huit différents compas à pointe en cuivre. 15° un grand compas en cuivre à parties égales avec un petit compas triangulaire à trois pointes [...] une machine en cuivre à fendre les rouës [...] trois règles en cuivre, deux rapporteurs [...] 21° un compas en fer à vis, plus une boîte garnie de differens compas et autres pieces à l'usage de la géométrie pratique, plus une autre boîte dans laquelle se trouvent differens morceaux de cuivre qui proviennent d'instrumens cassés. [...] Dans la septieme armoire qui pour titre hydrolica avons trouvé au premier et second rayon, plusieurs tubes, vases, fontaines en verre, en trez mauvais état, une éolipile, et une fontaine de compression en cuivre... »¹⁹

Les objets se divisent facilement en cinq catégories : les machines, les fontaines, les objets de tours, les pièces et outils d'horlogerie et les instruments mathématiques. La destination pédagogique de la collection est clairement établie. Ainsi de cette machine en bois, faite pour « démontrer » un mouvement, ou la présence de machines « communes », ou ces différents types de compas, qui supposent un apprentissage de leur usage. Le mauvais état de la plupart des objets est aussi bien la marque d'un abandon de l'observatoire deux ans avant l'écriture de l'inventaire, que de manipulations antérieures. Cela vient confirmer l'important rôle pédagogique des modèles, qui, aux XVII^e et XVIII^e siècles, prédominent sur leur usage dans un processus de conception.

Enfin, le fait de garder les fragments cassés et la présence d'instruments de fabrication dans les armoires et dans une salle attenante témoignent du fait que les modèles et instruments étaient fabriqués sur place. Était-ce les professeurs ou les élèves, sous leur conduite, qui réalisaient ces ouvrages ? Était-ce un artisan travaillant pour le collège ? Rien ne permet de trancher. Toujours est-il qu'un enseignement de mécanique pratique semblait bien exister au collège de la Trinité, sans doute en petit comité et à la marge des cours du cursus habituel. Son contenu devait être assez proche de l'esprit de

¹⁹ *Inventaire de l'observatoire du collège de la Trinité*, 7 janvier 1764. Archives départementales du Rhône, section ancienne, pièce 2D65.

l'exposition de Jean-Baptiste Picot : fondé sur une monstration accompagnée d'explications. Est-il alors possible d'imaginer un enseignement fondé à la fois sur les livres et sur les modèles au collège de la Trinité ?

Il nous faut revenir ici sur l'*ex-dono* du mathématicien lyonnais Jean-Philibert Ambert, placé sur deux théâtres de machines²⁰, un livre d'architecture et de construction navale²¹, actuellement conservés à la bibliothèque municipale de Lyon. Le texte complet de l'*ex-dono* est celui-ci :

« Don de l'illustre mathématicien, le D(octeur) Jean-Philibert Ambert, qui, de son vivant, avait orné de machines son musée de mathématiques, et vers sa mort, y avait placé les livres de sa bibliothèque. Année 1712.²² »

Ce petit texte imprimé est suivi, sur les frontispices et pages de titre, d'une note manuscrite qui indique l'inscription des ouvrages au catalogue du « Musaei Math. Coll. ». Aucune mention n'est faite de ce musée de mathématiques du collège dans d'autres documents. Il était vraisemblablement géré par le bibliothécaire en même temps que le cabinet des médailles et des antiquités. Le mathématicien lyonnais aurait-il légué non seulement ces livres, mais tout son musée aux jésuites ? C'est sans doute le cas, bien qu'il soit probable que les collections aient été déménagées dans une pièce du collège, peut-être dans l'observatoire. Notons d'ailleurs une ambiguïté sur la volonté d'Ambert de léguer ses livres : ce n'est que « vers sa mort » (« *moriens* »), qu'il les aurait placés dans le musée. Ne peut-on voir là une manœuvre des jésuites pour s'approprier les livres en plus des pièces du musée ?

Quoiqu'il en soit, des théâtres de machines entrent dans les collections du collège avec des modèles, et dans le cadre d'un musée de mathématiques. L'existence d'un lieu si spécifiquement dédié aux mathématiques pratiques témoigne de la volonté du corps professoral de promouvoir les études de mécanique. La réunion, dans une même pièce,

²⁰ Acquis par le mathématicien en même temps, en 1680, d'après une note manuscrite sur une page de garde. Ce qui témoigne de la montée de l'intérêt pour les machines dans les milieux savants à cette période. Voir sur ce point : Jean-Pierre SERIS, *Machine et communication*, *op. cit.* ; Bernard DELAUNAY, « L'émergence de la technologie... », *op. cit.*

²¹ Il s'agit respectivement de Jacques BESSON, *Livre premier...*, *op. cit.* ; Fausto VERANZIO, *Machinae Novae*, *op. cit.* ; Philibert de L'ORME, *Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits fraiz*, Paris, Federic Morel, 1561 ; *Nouveau traité des constructions des vaisseaux du Roy*, Rochefort, François Lafon, 1693.

²² L'ex-libris original est en latin : « Donum Illustris Mathematici D. Joannis Philiberti Ambert, qui Musaeum hoc Mathematicum multis, dum viveret machinis ornavit, & moriens libris Bibliothecae suae locupletavit. Anno 1712. »

d'un « musée », de modèles de machines, d'instruments mathématiques et de livres est particulièrement intéressante. Placés à part des collections générales de la bibliothèque, les théâtres de machines acquièrent en effet un autre statut. Ils se placent ouvertement en complément, voire dans le prolongement des modèles, en offrant à la fois une explication aux machines présentées, et un catalogue de combinaisons potentielles. La multiplicité des machines sur le papier complète la collection de modèles, qui en retour, facilite la lecture des ouvrages. Cela permet de familiariser les lecteurs avec les multiples possibilités de transmission et de transformation du mouvement. Cette disposition entre objets et livres était sans doute plus commune que nous ne pourrions le croire dans ce domaine du savoir. La gravure de Sébastien Le Clerc (Figure 9 : p. 136) montre en effet, sous les étagères de modèles, trois rayonnages de livres. Cela témoigne de la complémentarité, dans la pédagogie des techniques, de la matière et de l'écrit. Et en ce qui concerne la mécanique, les théâtres de machines et leur organisation sérielle étaient les compléments idéaux des collections de modèles. De plus, ils gardaient, par leur aspect séduisant, la capacité de susciter l'intérêt et une curiosité qui permettait aux enseignants d'aller plus loin. Ces usages dans les premières institutions à enseigner la mécanique ont conduit les théâtres de machines à devenir, au cours du XVIII^e siècle, des références incontournables de tout apprentissage sur les machines.

Cette première culture mécanique, partie intégrante de l'enseignement d'élite du collège de la Trinité, fut ainsi la base de la formation de plusieurs savants et ingénieurs français recrutés parmi les meilleurs élèves du collège. Citons, pour exemple, deux anciens élèves du collège, promis à une grande destinée parmi les ingénieurs français. Il y a d'abord Gabriel Jars, fils d'un entrepreneur des mines de la région lyonnaise, qui fut le meilleur élève d'une des premières promotions de l'école des Ponts et Chaussées, en 1751. Dans cette première école d'ingénieur où l'enseignement se faisait des meilleurs élèves « gradués » aux autres, il acquit surtout des compétences techniques : le dessin et le lever de plans. Il avait en effet déjà assimilé à la Trinité « la culture mathématique et l'ouverture scientifique qui sont les deux fondements de la pensée de l'ingénieur. »²³.

²³ Anne-Françoise GARÇON, *Entre l'État et l'usine : l'École des mines de Saint-Etienne au XIX^e siècle*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, coll. « Histoire (Rennes), ISSN 1255-2364 », 2004, 368 p., p. 23.

Plus tard, entré à l'Académie royale des sciences, il demeure un des plus grands spécialistes des questions minières au XVIII^e siècle.

Il y eut aussi Gaspard Monge, enseignant à l'école du génie de Mézières et co-fondateur de Polytechnique. Le jeune Monge était si bon élève que le collège lui confia, lors de sa deuxième année, la charge d'un enseignement de science physique. C'était en 1763, il avait alors 17 ans²⁴. Il quitta le collège quand les jésuites furent expulsés. Ce fut la fin de sa formation initiale. Deux ans plus tard, il était engagé comme dessinateur à Mézières, débutant ainsi sa carrière d'enseignant et de scientifique.

Les écoles d'ingénieurs

En France, les principales grandes écoles formant les ingénieurs d'État naissent au XVIII^e siècle : l'école des Ponts et chaussées en 1747, l'école du Génie à Mézières en 1748, et l'école des Mines en 1783, permettant chacune l'entrée dans un corps particulier. Pendant la Révolution, l'ensemble de l'enseignement technique français est réorganisé. En 1794 est fondée l'école centrale des Travaux publics (ECTP), et dans les années suivantes, tout le paysage des écoles d'ingénieurs d'État est réorganisé autour d'elle, très vite renommée école Polytechnique. Les trois premières écoles, gardant une autonomie de gestion, deviennent alors des écoles d'application. Elles conservent leurs bibliothèques propres, et toutes possèdent plusieurs théâtres de machines.

La bibliothèque de l'école des Ponts et chaussées

La bibliothèque de l'école des Ponts et chaussées, la plus ancienne, est paradoxalement moins fournie que ses consœurs en livres anciens, car elle ne profite pas des saisies révolutionnaires pour compléter son fond. Cette modestie est cependant compensée par les dons de Jean-Rodolphe Perronet, son premier directeur, de Pierre-Charles Lesage, directeur des études au XVIII^e siècle, et de Gaspard Riche de Prony, son quatrième directeur, à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e siècle, qui permettent aux collections de prendre de l'ampleur. Ainsi, à la fin du XVIII^e siècle, la

²⁴ D'après la page Wikipedia sur Gaspard Monge citant Louis de Launay, *Un grand Français, Monge, fondateur de l'École polytechnique*, éd. Pierre Roger, 1933

bibliothèque possède quelques théâtres de machines, comme le *Novo Teatro* de Vittorio Zonca ou le *Theatrum Machinarum Novum* de Böckler²⁵.

Un point remarquable de cette collection est la présence d'une copie entièrement manuscrite du texte français des *Diverses et artificieuses machines* de Ramelli²⁶. Ce manuscrit est d'autant plus surprenant qu'il est sans image ni schéma. Il est marqué d'un tampon de Mme de Corancez, nièce de Gaspard de Prony, directeur de l'école de 1798 à sa mort. Ce dernier a donc fait copier le Ramelli, sans doute pour son usage personnel²⁷. Mais pourquoi faire copier le texte d'un livre de machines vieux de deux siècles ? Rappelons d'abord que Gaspard de Prony était ingénieur des Ponts et chaussées, et qu'il avait un intérêt professionnel à connaître les machines pour avoir été enseignant d'analyse et de mécanique à l'école Polytechnique jusqu'en 1815. D'autre part, le livre de Ramelli était très connu et très apprécié au XVIII^e siècle : c'est un ouvrage de référence pour la connaissance des machines anciennes. Mais le plus intéressant, est l'absence totale d'illustration dans le manuscrit. Il nous renseigne sur ce qui est important ou non pour les mécaniciens de cette période. Premier point, le vocabulaire et la forme des pièces ne sont jamais explicités autrement que par l'image dans le Ramelli. L'absence d'image révèle donc un désintérêt pour les différentes variations sur les organes mécaniques les plus connus. Second point, ni le texte, ni l'image ne s'appesantissent sur les matériaux ou le mode de construction de la machine. Troisième point, sans doute le plus important, le texte insiste sur la cinématique, sur l'agencement des pièces les unes par rapport aux autres. C'est donc d'abord la connaissance de cet agencement qui est recherché dans les anciens théâtres de machines.

Ceux-ci ne sont pourtant pas les seuls livres de machines à apparaître dans les collections de la bibliothèque des Ponts et Chaussées, bien au contraire. L'école possède en effet toute la collection des *Theatri* de Leupold dans sa première édition et la plupart des volumes de la seconde édition de 1774. De même, elle contient de nombreux tomes

²⁵ Exemplaires disponibles à la bibliothèque Lesage de l'école des Ponts et Chaussées. Les cotes sont : Fol. 744 pour le Zonca ; 4.SC pour le Böckler (orthographié Boeckler).

²⁶ La cote est la ms.fol.252.

²⁷ La comparaison de l'écriture du copiste et de l'écriture de Prony dans un document officiel montre qu'il s'agit bien de deux rédacteurs différents. Le fait qu'il s'agisse d'une copie commerciale explique sans doute l'exhaustivité de la copie, et le fait que le copiste ait aussi recopié la dédicace à Henri III ou la préface aux lecteurs, inutiles pour Prony ou tout autre ingénieurs des Ponts et chaussées de la période.

des *Theatri* édités par Pierre Schenck, dont une version manuscrite de la traduction française du livre de Tileman van der Horst sur les constructions sur l'eau. C'est la collection la plus complète de théâtres de machines du XVIII^e siècle existante en France encore aujourd'hui. Si la plupart ne présentent pas de marques de provenance, plusieurs sont issus des premiers dons de Perronet, de Lesage, et de Prony.

Cette concentration à l'école des Ponts et chaussées montre que les publications de Leupold, pourtant assez rares en France, étaient connues et pratiquées par les professions intéressées, qui pouvaient trouver à se les procurer ou en faire des copies. Le grand intérêt pour la collection de Leupold s'explique par le fait que ses *Theatri* étaient les seuls livres, dans l'Europe du XVIII^e siècle, à donner autant de précisions, et de façon aussi systématique, sur les machines les plus communes comme les plus complexes. Dans le mode d'enseignement alors en vigueur à l'école des Ponts et chaussées, où les meilleurs élèves enseignaient aux autres, où les visites et l'expérience du terrain jouaient un grand rôle, et où le travail individuel se trouvait au cœur des premiers modes d'enseignements, la consultation d'ouvrages encyclopédiques était un avantage non-négligeable.

Quant aux publications de Pierre Schenck, moins théoriques et plus descriptives, elles intéressaient particulièrement les membres du corps des Ponts et chaussées. Elles mettaient en effet à jour les connaissances non seulement en matière de moulins à vent, mais aussi en matière d'écluses et d'aménagements des berges et des cours d'eau, sur lesquelles les hollandais possédaient un grand savoir-faire. Il y a, dans ces collections de l'école des Ponts et Chaussées, la marque d'une première organisation de l'enseignement qui agençait terrain et théorie scientifique, connaissance encyclopédique des machines et science mécanique.

La bibliothèque de l'école des Mines

L'école des Mines possède aussi plusieurs théâtres de machines. Nous trouvons d'abord trois tomes des *Theatri* Leupold conservés à la bibliothèque. Il s'agit du tome deux sur les mesures et le contrôle des débits d'eau, du tome cinq sur les grues et les treuils, et du tome six qui complète les principes de base de la *statique* par plusieurs expériences et instruments de mesure. Bref, les tomes qui permettent aux élèves de

calculer les machines d'exhaure des mines ou les grues. Ils n'ont aucune marque de provenance, et il est difficile de connaître leur date exacte d'entrée à l'école, d'autant que le premier véritable inventaire de la bibliothèque de l'école des Mines n'a été effectué, semble-t-il, qu'à la Restauration²⁸, mais leur usage dans les premières années du XIX^e siècle reste la plus probable.

Les autres théâtres de machines de la bibliothèque de l'école des Mines sont issus d'une saisie révolutionnaire effectuée par le jury des Armes. Le jury des Armes avait été constitué en septembre 1793 par le comité de Salut public pour examiner les inventions susceptibles de simplifier la fabrication des armes et d'en améliorer la qualité. Y siégeaient notamment Jean-Henri Hassenfratz, professeur de physique générale de l'école Polytechnique, et promoteur d'une nouvelle école des Mines et Gaspard Monge, un des fondateurs de Polytechnique. Ils avaient réuni, pour leurs travaux, plus d'une centaine d'ouvrages. Le jury fut dissout le 2 février 1795²⁹ au profit de la commission des Armes et poudres, et certains livres furent donnés à l'agence des Mines, à la demande de celle-ci, le 24 avril 1795³⁰. Au total, 58 titres, principalement des livres de mécanique, de physique et de chimie, sont confiés à l'agence des Mines et de là, à l'école.

Parmi les 58 titres, nous trouvons la *Description du cabinet* des Servières, le *Theatrum instrumentorum et machinarum* de Jacques Besson (1578), qui appartenaient auparavant au couvent des Minimes de Paris, les *Diverses et artificieuses machines* d'Agostino Ramelli (1588)³¹, et les deux volumes du *Theatrum machinarum universale of [...] Moelen-Boek*, écrits par Johann van Zyl et édités par Pierre Schenck. Ces différents livres³² attestent de l'intérêt que gardent les théâtres de machines renaissants dans les

²⁸ Nous devons les informations sur l'histoire de la bibliothèque de l'école des Mines à Mme Maisonneuve, conservatrice du fonds ancien de ladite bibliothèque.

²⁹ 14 pluviôse de l'an 3.

³⁰ *Livres provenans du Jury des armes mis à la disposition de l'agence des Mines, copie de l'arrêté de la Commission des armes et poudres de la République une et indivisible du 6 floréal de l'an 3* : « vu l'approbation du Comité de Salut Public du 18 germinal (7/04/1795) au rapport de la Commission du 21 (10/04) du même mois sur la demande de l'agence des mines du 24 Ventôse (14/03/1795)... »

³¹ Le livre de Ramelli semble intéresser bien des ingénieurs. Nous le retrouvons encore à l'école des Mines de Mexico city. Il avait été apporté par un ingénieur espagnol au milieu du XVIII^e siècle, puis versé à la bibliothèque de l'école des Mines mexicaine à sa création à la fin du siècle. La même école a aussi deux des volumes édités par Pierre Schenck.

³² Nous pourrions ajouter un exemplaire des *Forces mouvantes* livre Salomon de Caus, mais celui-ci est incomplet : il manque le premier livre, c'est-à-dire précisément celui qui traite de mécanique et de forces mouvantes. Il ne reste que le livre sur la décoration des jardins et la fabrique des orgues.

enseignements de mécanique de la première industrialisation, que l'exemple de la bibliothèque de l'école Polytechnique nous permet de mieux comprendre.

La bibliothèque centrale de l'école Polytechnique

Les origines de la bibliothèque de l'école polytechnique sont très bien documentées grâce à la compilation d'un *Recueil de documents relatifs aux origines de la bibliothèque de l'école Polytechnique*³³, réunis par Albert de Rochas³⁴. Premier document, daté du 1^{er} novembre 1794³⁵, l'*Inventaire des livres provenant de l'École du Génie cidevant établie à Mézières* marque la parenté entre l'ancienne école du génie et la nouvelle école centrale des Travaux publics (ECTP). La bibliothèque comprenait quelques récits de voyages, quelques ouvrages d'histoire et de dessins, mais surtout une importante collection de livres de mathématiques, de physique, de chimie, d'architecture hydraulique, d'architecture civile et d'architecture militaire. Ici comme ailleurs, c'est dans la partie sur les mathématiques que nous retrouvons les ouvrages de mécanique : la « Mécanique de Varignon », ou celle de Berthelot, mais aussi le « Cabinet des Grolier de Servièrès », ou « Les forces mouvantes de Salomon de Caus ». Chose surprenante, celui-ci est noté « à remettre », indiquant que les personnes chargées du choix, dont Pierre-Charles Lesage, inspecteur des Ponts et chaussées, n'estimaient *a priori* pas nécessaire de garder l'ouvrage pour la bibliothèque de la nouvelle école, au contraire du *Cabinet de Grolier de Servièrès*, qui lui est placé dans la rubrique « à garder ».

Ce rejet du livre de Salomon de Caus, alors même qu'il est à la fois le plus théorique, le plus intelligent et le plus précis des premiers théâtres de machines ne manque pas d'interroger. Pourtant, c'est sans doute à cause de ses propositions théoriques que le livre est rejeté. Expliquons-nous : dans le cadre de cet enseignement polytechnicien, les théâtres de machines ne sont pas considérés pour leurs vertus explicatives, mais uniquement pour leur utilité monstrative. Le livre hydride de Salomon de Caus ne propose

³³ Albert de ROCHAS D'AIGLUN, *Recueil de documents relatifs aux origines de la bibliothèque de l'École polytechnique*, école Polytechnique, cote Rés. EP Y183, 1890, 201 p.

³⁴ Albert de Rochas d'Aiglun (1837-1914) fut administrateur de l'école après sa retraite militaire en 1888. Il est plus connu par son penchant avoué pour l'ésotérisme et la volonté de comprendre scientifiquement les phénomènes surnaturels.

³⁵ 11 brumaire de l'an 3.

qu'assez peu de machines originales, par rapport aux autres théâtres³⁶, et sa partie théorique, très marquée par l'aristotélisme, est largement dépassée, et pourrait venir parasiter la nouvelle science mécanique alors enseignée.

Ironie du sort, les livres « à remettre » n'ont jamais été rendus à l'école de Mézières, et le livre de Salomon de Caus est le seul théâtre de machines relevé dans le premier inventaire de la bibliothèque, dressé le 16 avril 1796³⁷. L'ouvrage se trouve toujours dans le fonds ancien de la Bibliothèque de l'école, bien qu'une note manuscrite indique au dessus du frontispice : « à l'usage des Écoles du Génie à Mézières »³⁸.

Par ailleurs, l'ECTP a largement profité des saisies révolutionnaires pour enrichir sa bibliothèque. La plupart des documents du recueil d'Albert de Rochas sont ainsi des inventaires ou des listes de livres confisqués dans les bibliothèques des émigrés au profit de l'ECTP. Matrice de ces confiscations : un *Etat des livres qu'il est nécessaire de rassembler pour compléter la Bibliothèque actuelle de l'école centrale des Travaux publics qui doit servir à l'instruction des Elèves*, proposé par le directeur de la nouvelle école, Jacques-Elie Lamblardie à l'approbation de la commission des Travaux publics. Cet état recense les livres que l'école souhaite posséder dans sa bibliothèque. Le 22 décembre 1794, les comités de Salut public, de l'Instruction publique et des Travaux publics autorisent les saisies selon ce document³⁹. Si le directeur de l'école propose officiellement la liste, il est difficile de savoir qui en sont les auteurs exacts. Gageons que, pour la partie concernant la mécanique, le futur professeur de physique générale, et par là du cours sur les éléments de machines, Jean-Henri Hassenfratz, a soufflé, sinon dicté, quelques références.

La liste est en effet divisée en différentes parties, qui correspondent aux matières à enseigner dans cette école généraliste. Puis chaque partie contient une série de

³⁶ 33 planches dans les *Raisons des forces mouvantes* contre environ 40 pour Zonca, 50 pour Veranzio, 60 pour Besson et Errard, et plus de 100 pour Strada ou Ramelli.

³⁷ *Inventaire de la bibliothèque de l'école Polytechnique du 27 germinal de l'an 4*. Cet inventaire montre d'autres livres censés être « remis » à l'école du génie.

³⁸ Il s'agit de l'édition de 1624, relié en recueil factice avec *La Pratique et démonstration des horloges solaires* du même auteur. Le volume est aux armes de Dominique de Vic (1588-1662), évêque d'Auch de 1629 à 1661). L'exemplaire conservé sous la cote G2A 1 à la bibliothèque centrale de l'école Polytechnique, au centre de Ressources historiques.

³⁹ 2 Nivose de l'an 3. Détail intéressant, la copie conforme consignée à la bibliothèque de Polytechnique est signé de l'adjoint de la commission : Charles-André Dupin, le père du futur baron Charles Dupin, qui, en 1801, entrait major à Polytechnique. Voir sa biographie sur Sycomore, la base de données des membres de l'assemblée nationale : <http://www.assemblee-nationale.fr/sycomore/> (consultée le 15 novembre 2012).

références bibliographiques comprenant le nom de l'auteur, le titre de l'ouvrage et son format. Or, dans la partie « Mécanique, Machines », nous trouvons douze références, quasi-exclusivement des théâtres de machines, accompagnés de recueils de machines hydrauliques assez connus comme ceux de Samuel Morland ou du comte de Wahl⁴⁰.

Les *Leçons élémentaires de mécanique*, rédigées par l'astronome Nicolas-Louis de la Caille, forment la seule référence à un ouvrage entièrement théorique, et peu illustré. Cet ouvrage est un « classique » de la littérature mécanique française du XVIII^e siècle, réimprimé et augmenté de nombreuses fois après 1741. Il condense les principes de la *statique* et des machines simples, qui restent au cœur de toute théorie mécanique, tout en intégrant, au fur et à mesure des rééditions, quelques avancées récentes de physique newtonienne ou de dynamique. Sa portée, sa disponibilité, et son isolement dans le reste des références de Monge, en font sans aucun doute le manuel des élèves, servant de base à tout l'enseignement du cours de mécanique. Les élèves travaillent chez eux avec ce livre, l'enseignement est ensuite complété par des discussions en classe. Les théâtres de machines ne seraient, dans ce cadre, que des catalogues destinés à fournir à la classe de nombreux exemples sur lesquels travailler, une immense bibliothèque de « situations »⁴¹, permettant aux élèves d'exercer leurs capacités à appliquer la théorie, et de parfaire leur culture mécanique. L'objectif est de les familiariser avec les machines anciennes comme avec les plus récentes, et de traiter chacune avec la même rigueur.

Précisons cependant les choses. Parmi les neuf théâtres de machines, nous retrouvons bien entendu les habituels ouvrages de Jacques Besson et Agostino Ramelli, et quelques autres de la même période (Branca, Strada, Zonca, Veranzio, Böckler⁴²), mais aussi quelques ouvrages du XVIII^e siècle : le *Theatrum machinarum generale* de Jacob Leupold, et les trois volumes du *Theatrum machinarum universale* publié par Pierre Schenck. Cela montre d'abord qu'à la fin du XVIII^e siècle, les nouveaux auteurs de

⁴⁰ Samuel MORLAND, *Élévation des eaux par toute sorte de machines, réduite à la mesure, au poids, à la balance*, Paris, Gabriel Martin, 1685 ; Ferdinand François WAHL, *Traité de l'élevation des eaux : avec des figures*, Munich, Riedl, 1716.

⁴¹ Concept développé dans Anne-Françoise GARÇON, *Entre l'État et l'usine*, op. cit. p. 160-168, et repris par l'auteur dans « La science, l'esthétique et l'écoulé » dans Armand HATCHUEL et Benoît WEIL, *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers.*, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy., Cerisy-la-Salle, coll. « Colloque de Cerisy-la-Salle », 2008, 272 p. Voir aussi *infra* « Une bibliothèque de situations », p. 432.

⁴² Remarquons ici l'absence de Salomon de Caus. Böckler n'est pas cité en tant que tel, mais un *Theatrum machinarum* de Schmidt Or, Henri Schmidt est connu pour avoir, en 1662, traduit le *Theatrum machinarum novum* de Böckler de l'allemand au latin.

théâtres de machines ont acquis leurs lettres de noblesse et sont aussi connus que la plupart des autres auteurs. Ils permettent de parfaire de la sorte le grand catalogue de machines et d'inventions que proposent les théâtres de machines. Le succès des livres de Pierre Schenck se comprend d'ailleurs très bien dans ce contexte. Fondés sur des enquêtes et confiés à des spécialistes, ces livres décrivent, par écrit et sur de magnifiques planches en grand *in-folio* des objets techniques complexes déjà existants et qui ont envahi le paysage des Provinces-Unies : écluses, moulins à vent, ponts, escaliers et constructions diverses sur pilotis. Le *Theatrum machinarum universale* permet donc aux enseignants français de compléter une bibliothèque encyclopédique de situations avec d'autres exemples de créations ingénieriques, qui étaient restés à la marge des théâtres antérieurs.

Nous retrouvons dans cette complémentarité entre un ouvrage théorique et des théâtres de machines, désormais considérés comme la matrice de toute bonne bibliothèque de situations sur les machines, la marque d'une vision technologique dont Hassenfratz se réclame⁴³. Rappelons que ce dernier, contrairement à son collègue Gaspard Monge, avait été formé à l'école des Ponts et chaussées, où s'était développée une vision similaire.

La présence du seul premier tome de Jacob Leupold interroge en revanche. Ce livre fait plus que proposer différentes descriptions de machines, il propose une théorie des machines, qui pourrait entrer en concurrence avec celle du livre de la Caille. Gageons que les enseignants, et Hassenfratz en particulier, y voient d'abord un ouvrage complémentaire. Les principes de *statique* énoncés par Leupold sont toujours considérés comme globalement valables, et, avec son grand format et ses planches claires, il offre un bon complément au livre de la Caille, notamment dans ses descriptions des machines simples. Mais surtout, ce livre de Leupold est l'exemple même d'une démarche technologique appliquée aux machines, d'une démarche alliant théorie mécanique, calcul mathématique et expérimentations scientifiquement menées. Leupold offre ici une base

⁴³ « Là se dévoile l'arrière-plan technologique. Hassenfratz fut le seul, dans toute cette période, à s'en réclamer nommément. », Anne-Françoise GARÇON, *Entre l'État et l'usine*, op. cit., p. 43. Sur la technologie, voir *infra* « Qu'est-ce que la technologie ? », p. 322.

autant qu'un modèle, et, en cette fin de XVIII^e siècle, le contenu théorique vaut sans doute autant que la méthode développée⁴⁴.

Mais quels sont les résultats de cette politique de confiscation pour la bibliothèque ? Concernant la mécanique, les saisies effectuées dans la douzaine de dépôts dont nous gardons trace, se sont révélées globalement infructueuses, sauf pour la mécanique de la Caille. Il faut donc attendre un envoi de Gaspard Monge, depuis Rome, pour que le fonds soit complété. Le 25 janvier 1801 sont en effet reçues de Rome plusieurs caisses comprenant de nombreux livres⁴⁵. Parmi ceux-ci l'édition latine de 1582 du *Theatrum instrumentorum* de Jacques Besson et les *Machinae Novae* de Veranzio apportent de nouveaux théâtres de machines⁴⁶.

Il faut encore ajouter la présence, au centre de Ressources historiques de l'actuelle bibliothèque de l'école, un exemplaire du *Theatrum pontificale* de Leupold et les éditions flamandes et françaises du *Theatrum machinarum universale* de Tileman van der Horst et Jacob Polley (édité par P. Schenck), portant notamment sur les ouvrages construits sur l'eau⁴⁷. Ces ouvrages n'ont pas de marques particulières de provenances, et il est difficile de dire comment l'école les a acquis. Tout au plus, pouvons nous penser qu'ils ont été acquis au début du XIX^e siècle, où ils étaient encore en usage.

Au final, l'école Polytechnique ne possède qu'un fonds modeste de cinq références, malgré un intérêt visible pour les théâtres de machines dans la liste d'Hassenfratz. Outre la rareté des livres dans les milieux parisiens, la modestie du fonds montre que l'école n'a plus cherché à obtenir ces ouvrages dans les années suivantes. Généraliste, elle place très vite au centre de son enseignement un savoir mathématique pointu ; l'aspect pratique de l'enseignement étant renvoyé à d'autres écoles spécialisées⁴⁸.

⁴⁴ Voir *infra* « Chapitre 10 : Une pédagogie technologique, éléments généraux », p. 352.

⁴⁵ *Catalogue des ouvrages contenus dans les caisses reçues le 5 Pluviose an 9 de la part des administrateurs du Musée Central des Arts provenant de l'envoy de Rome par le Commissaire Monge, conformément à ses lettres du 5, 7 et 13 floréal an6. Les dits ouvrages remis de suite à la Bibliothèque de l'École Polytechnique.* Dans Albert de ROCHAS D'AIGLUN, *Recueil de documents...*, *op. cit.*.

⁴⁶ Voir Annexe 1 : « Liste des théâtres de machines », p. II, pour la liste des exemplaires effectivement conservés à la bibliothèque Polytechnique. Notons que le livre de Veranzio est bien catalogué dans la base de la bibliothèque, mais il n'est pas accessible (recatalogage ou perdu).

⁴⁷ L'édition française du livre de Horst/Schenck (éd. 1737) contient deux volumes, conservés sous la cote G3A 2. L'édition flamande du même ouvrage (éd. 1737), en un volume, est conservé sous la cote G2C 7.

⁴⁸ Anne-Françoise Garçon a bien montré combien l'école Polytechnique avait refusé que l'école des mineurs de

Quelle place pour les théâtres de machines dans une science industrielle ?

Les premières décennies du XIX^e siècle sont marquées, en France, par les tentatives de mettre sur pied une science permettant à la fois de gérer et de favoriser l'industrie. La construction de machines est au cœur de ce mouvement intellectuel. Pourtant, la place prise par la mécanique demeure floue dans les programmes de la période révolutionnaire. Deux postures, dans lesquels l'usage des théâtres de machines diffère, s'opposent. Nous nous proposons de les illustrer à travers les cas particulièrement symptomatiques de la rédaction du premier manuel de mécanique destiné aux élèves de Polytechnique par Jean-Nicolas-Pierre Hachette, et de l'œuvre encyclopédique de Joseph-Antoine Borgnis.

Évacués de la mécanique rationnelle chez Hachette

Jean-Nicolas-Pierre Hachette fut un proche de Gaspard Monge. Aide-dessinateur à l'école de Mézières, sa ville natale, il devient professeur d'hydrographie dans le Sud de la France, avant d'être appelé de nouveau à l'école de Mézières. En 1794, lors de la création de la future école Polytechnique, il est nommé adjoint de Monge, dont il est considéré comme le plus important continuateur. Il inculque alors à une grande partie des futurs ingénieurs de la France les principes de la géométrie descriptive, qu'il complète par divers suppléments et applications.

C'est en tant qu'« instituteur de l'école impériale polytechnique », qu'il rédige son *Traité élémentaire des machines*, en 1811, « programmes de [ses] leçons »⁴⁹. La dédicace qu'il rédige à l'adresse de Gaspard Monge nous en apprend davantage sur le contexte de cette publication. Assurant l'enseignement de mécanique du sénateur Monge, souvent absent, il se fonde sur ses programmes. Or, « on voit par l'un de ces programmes que [Monge avait] l'intention de [s']occuper spécialement d'un Traité sur les machines », ce qu'il n'a plus le temps de réaliser. C'est pourquoi, aidé des conseils de Monge, Hachette rédige l'ouvrage.

Saint-Etienne ne s'appuie sur un enseignement trop théorique, qu'elle se réservait au titre de former des ingénieurs d'État. Lire la première partie de Anne-Françoise GARÇON, *Entre l'État et l'usine*, op. cit.

⁴⁹ « Préface » de Jean-Nicolas-Pierre HACHETTE, *Traité élémentaire des machines*, par M. Hachette, France, Klostermann, 1811, 304 p.

Dès sa publication, Lazare Carnot est chargé par la classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut de France d'en faire un rapport. Il décrit le contenu du manuel de mécanique de Hachette en ces termes :

« Le but que s'est proposé M. Hachette, a été de faire connaître, par une *description exacte*, et par *l'analyse de leurs propriétés*, les principales machines inventées jusqu'à ce jour, en se bornant néanmoins à celles qui ont pour objet l'économie des forces.

L'auteur développe, par un grand nombre de planches fort soignées, la *construction* de chaque machine, et il y joint le *discours explicatif* pour en donner une parfaite intelligence ; il évalue ensuite *les effets de cette machine*, et il en discute *tant par la théorie que par l'expérience*, les avantages et les défauts. »⁵⁰

Le manuel pourrait sembler, dans son plan, extrêmement similaire à celui de Jacob Leupold, presque un siècle plus tôt. L'idée de fonder un enseignement de mécanique à destination de futurs ingénieurs d'État sur la description de machines et des expériences semblent s'être diffusée d'Allemagne en France. « Description exacte », « développe[ment sur] la construction » montrent un souci pédagogique de précision dans la description des machines, pour permettre, d'après les dire même de l'auteur, de les « exécuter d'après les échelles du dessin gravé »⁵¹. En réalité pourtant, la démarche de Hachette n'est pas une traduction française de celle de Leupold. Elle insiste beaucoup plus sur l'importance de la mécanique comme science.

Le ton est donné dès la préface. S'il commence son texte par une définition très large des machines : « Un Traité complet sur les Machines embrasserait la description de tous les arts », Hachette s'empresse de préciser qu'il « ne considère dans cet Ouvrage qu'une classe particulière de *machines*, celles qui sont destinées à transmettre le mouvement, et plus spécialement celles qui reçoivent directement l'action des moteurs. » (Hachette souligne). Les moteurs sont ici à comprendre comme les éléments naturels : les animaux, l'eau, le vent et les combustibles ; et les machines qui les transmettent ce que nous appelons aujourd'hui des moteurs : moulin et machines à feu. Voici le cœur de l'exposé de Hachette : le calcul du rendement des moteurs, auquel il ajoute une partie sur les pompes, une autre sur les engrenages, et une troisième sur « les principales machines employées dans les constructions ».

⁵⁰ Le texte du rapport est placé en ouverture de Jean-Nicolas-Pierre Hachette, *op.cit.*, 1811. Nous soulignons.

⁵¹ « Préface » de J-N-P. Hachette, 1811, *op. cit.* Sauf précision contraire, toutes les citations suivantes sont tirées du même ouvrage.

Y aurait-il dans ces autres chapitres, et notamment le dernier, la marque d'un intérêt pour la composition des machines ? Non, et l'auteur le dit explicitement. Il se place en effet à distance des chefs des « écoles spéciales d'arts et métiers », qui, s'ils avaient eu le temps de faire leur propre traité de mécanique, auraient sans doute ajouté aux trois parties de son livre, « la description de ces machines *outils*, telles que la machine à faire la chaîne de *Vaucanson* ». Là n'est pas son propos :

« On doit remarquer que ces inventions toutes très ingénieuses, n'ont pas pour objet spécial de transmettre le mouvement [...] la recherche du rapport entre la force dépensée, et le produit dynamique de cette force, qui est l'objet principal du premier chapitre de cet Ouvrage, n'est d'aucun intérêt, lorsque l'on considère les machines *outils*, dont le but principal est de suppléer à l'adresse du moteur appliqué à ces machines. »

Et plus loin, après avoir décrit plusieurs machines expérimentales sur les forces vives :

« Ces notions sur les forces vives font sentir la justesse d'un mot de *Montgolfier* : *la force vive est celle qui se paie*. En effet, un homme recevant une somme d'argent pour élever une quantité déterminée d'eau à une hauteur donnée, s'il l'élève à une hauteur double, il doit recevoir une somme double. Les moteurs appliqués aux machines doivent être considérés comme des forces vives, et estimés de la même manière qu'elles. [...] il est important d'adopter une unité d'effet dynamique pour comparer entre elles les causes naturelles de mouvement, et pour juger du mérite des machines qui transmettent ce mouvement. »

En quelques phrases, Hachette signe son inscription dans le sillon de la mécanique rationnelle, dont François Vatin a bien montré que suite à la publication du *Mémoire sur la Force des hommes* de Coulomb, en 1799, elle se construit autour de la recherche d'une unité universelle qui permette de rendre compte de l'efficacité d'une machine et de son intérêt économique⁵². Cette unité sera le travail mécanique. Là où la science industrielle allemande était fondée sur l'administration des techniques, la science industrielle française sera d'abord économique.

Il est étrange, dans ce contexte, de voir Hachette citer les trois plus célèbres théâtres de machines : ceux de Besson, de Ramelli et de Leupold, en tête d'une « Notice sur les livres relatifs à la science des machines », au côté des *Machines approuvées par*

⁵² François VATIN, « Sur les relations entre pensée technique et pensée économique (entretien) », *e-Phaïstos*, 2013, II, n° 2.

l'académie des sciences, de la *Description des arts et métiers* de la même académie, et de quelques autres livres de descriptions de machines. Bien placées dans cette bibliographie sommaire, ces références participent en réalité d'un lieu commun obligatoire de tout ouvrage sur la mécanique. La tradition des théâtres de machines imprégnait sans doute suffisamment la communauté des savants mécaniciens pour obliger l'auteur à citer des ouvrages, mais il ne s'en inspire pas.

Mieux, l'introduction évacue complètement l'intérêt principal des théâtres de machines, à savoir la constitution d'une bibliothèque des différentes formes et combinaisons possibles de mécanismes. Elle propose à la place un tableau de classification des mécanismes en dix séries en fonction de la transformation qu'ils font subir au mouvement, de rectiligne continu à circulaire alternatif. Ce tableau, comme le fait remarquer Carnot, reprend les travaux des ingénieurs Augustin Bétancourt et Philippe-Louis Lanz. Le premier est un ancien élève de l'école des Ponts et chaussées, où il se lie d'amitié avec Monge et Prony ; il est le fondateur de l'école des Chemins, canaux et ports de Madrid⁵³. Le second, né au Mexique, s'engage dans la marine, puis s'installe à Paris où il rencontre Monge et Bétancourt. Professeurs associés à l'école Polytechnique, ils assistent aux premiers cours de mécaniques de Hachette vers 1806. Avec ses encouragements, et ceux de Monge, ils rédigent un *Essai sur la composition des machines* en 1808, considéré comme le premier essai de cinématique et régulièrement réédité tout au long du XIX^e siècle. Cette théorisation de la composition des machines rendait obsolète un apprentissage des différentes formes de machines par l'étude fastidieuse de nombreux exemples imprimés dans cette tradition. Bref, en reprenant les résultats de ses anciens élèves – sans les citer – et en faisant référence aux théâtres de machines, Hachette s'attribue cette percée de la science cinématique tout en évacuant la question de la composition des machines, ce qui lui permet d'approfondir la description des moteurs à l'aide de calculs et de quelques expérimentations, seul aspect « pratique » de la formation polytechnicienne qui se met en place⁵⁴. Références obligées, les trois célèbres théâtres de machines ne sont ici cités que pour être mieux mis

⁵³ « Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos ».

⁵⁴ Sur les différences façon de penser la « pratique » dans l'apprentissage des techniques, voir Anne-Françoise GARÇON, *Entre l'État et l'usine*, op. cit., p. 56-57.

à distance. Si les vieux livres de machines sont ainsi écartés d'un enseignement polytechnicien qui se veut pointu et mathématisé, tel n'est pas dans les « écoles spéciales d'arts et métiers » que citait Hachette.

Rendus obsolètes par la mécanique usuelle de Borgnis

La même année que la création de l'ECTP, l'abbé Grégoire fonde le conservatoire des arts et métiers (CNAM). L'esprit y est tout autre qu'à Polytechnique, le CNAM n'étant pas pensé comme une école d'ingénieur, mais de techniciens. Le projet ressemble davantage à celui de l'exposition des modèles de machines de Picot, mais de façon permanente. Une collection de machines, des démonstrateurs, un dessinateur, des descriptions, voilà ce que devait être le CNAM ; un lieu où tout à chacun pouvait venir s'instruire. La vue prend ici une place fondamentale : « l'expérience seule, en parlant aux yeux, aura droit d'obtenir l'assentiment »⁵⁵. L'expérience dont il est ici question est d'un autre type que l'expérimentation proposée par Hachette, c'est une expérience sensible et continue, une expérience non pas réalisée dans l'objectif de théoriser un mouvement, mais dans celle de connaître et reconnaître une combinaison, une forme, une façon d'être. La comparaison à la peinture marque le discours : « Ce moyen, absolument semblable à ce qui se pratique au Louvre pour la peinture et la sculpture, nous a paru très-propre à féconder le génie ». Féconder le génie par l'exposition de modèles et de descriptions des meilleures machines de chaque domaine. Le projet est somme toute très proche de la topique inventive des théâtres de machines renaissants, qui visait à susciter l'*ingenium* du lecteur à partir de lieux communs considérés comme autant d'exercices possibles⁵⁶.

C'est donc logiquement que nous trouvons à la bibliothèque du conservatoire la plus grande collection de théâtres de machines des institutions parisiennes de formation. Tous sont présents : Besson, Ramelli, Zonca, Branca, Strada, Böckler⁵⁷ ; certains même en deux exemplaires. Les théâtres du XVIII^e siècle ne sont pas en reste, le CNAM possédant

⁵⁵ Henri-Baptiste Grégoire, *Convention nationale. Instruction publique. Rapport sur l'établissement d'un conservatoire des arts et métiers*, 8 vendémiaire an III (29/09/1794), p. 18. Disponible sur le CNUM. Sauf précision contraire, les citations suivantes sont tirées du même document.

⁵⁶ Voir infra « Chapitre 7 : Ordonner l'invention : la topique inventive », p. 232.

⁵⁷ Seuls manquent les éditions « confidentielle » : celle d'Errard de Bar-le-Duc, dont le conservatoire a cependant acquis le fac-simile du XX^e siècle, tout aussi rare que l'original, ou celle d'Ambroise Bachot.

les huit tomes des *Theatri* de Leupold réédités en 1774, les principaux titres des livres édités par Pierre Schenck dont la version française du *Théâtre universel* de van der Horst.

L'héritage est certain, la méthode est semblable, mais les domaines traités ne sont plus les mêmes. Au CNAM, plus de machines hydrauliques, de grues ou de treuils, plus de machines d'ingénieurs du moins pas en priorité. Le projet de l'abbé Grégoire est de favoriser, dans tous les arts, la promotion des meilleures machines : machines agricoles, machines-outils, machines textiles, machines de découpe (pierre et bois) tiennent alors le haut du panier. L'ingénieur n'est pas le public premier, mais bien l'artisan, autodidacte et entrepreneur, chez qui on cherche à susciter de nouvelles inventions. Le but est de favoriser l'invention industrielle. D'une certaine façon, le projet signe l'élargissement de la logique de la topique inventive aux techniciens « inférieurs », à ceux qui n'ont pas de connaissances scientifiques, en un mot, aux non-ingénieurs.

Très vite cependant, l'institution dépasse son simple rôle de conservatoire, d'exposition permanente des inventions des différents domaines. Des cours sont ouverts, la formation s'institutionnalise, et la théorie vient compléter la monstration des machines. Mais jamais cet esprit en faveur de l'innovation industrielle par la connaissance approfondie de l'existant ne cesse d'insuffler aux professeurs du conservatoire une certaine forme de pédagogie.

Comme le dit si justement J-N-P. Hachette, un professeur de cette « école spéciale d'arts et métiers » n'aurait sans doute pas conçu un manuel de la même façon... s'ils avaient eu le temps de l'écrire. De fait, ce n'est pas un professeur, mais un ingénieur italien pratiquant en France qui rédige et publie en 1818 cet autre manuel. Le lien avec le Conservatoire n'en est pas moins évident, et Giuseppe Antonio Bognis dédie son *Traité complet de mécanique appliqué aux arts*⁵⁸ à Gérard-Joseph Christian, directeur du CNAM depuis 1816. Sans doute y a-t-il mené de longues recherches dans la bibliothèque du conservatoire, préparant son œuvre pendant plusieurs années. Coup sur coup, ce sont en effet huit tomes de plus de 300 pages chacun qui paraissent de 1818 à 1820, portant

⁵⁸ Joseph-Antoine BORGNIS, *Traité complet de mécanique appliquée aux arts*, Paris, Bachelier, 1818. Entièrement disponibles sur le CNUM. Sauf précisions contraires, toutes les citations suivantes sont tirées de cet ouvrage et c'est l'auteur qui souligne. Notons que ce livre s'inspire beaucoup de celui de Claude-François BERTHELOT, *La mécanique appliquée aux arts, aux manufactures, à l'agriculture et à la guerre*, Paris, Demonville, 1782.

sur les mécanismes simples, les machines des fardeaux, celles de construction, les machines hydrauliques, agricoles, textiles, théâtrales et « employées dans diverses fabrications », suivi, en 1821 d'un ouvrage théorique, et en 1823 d'un dictionnaire.

La méthode se démarque de celle de Hachette, et Borgnis insiste sur ses différences avec la mécanique rationnelle enseignée à Polytechnique. De préface en préface, l'auteur met en place un véritable système encyclopédique des connaissances, dans lequel il se situe et situe ses confrères de l'école Polytechnique. Au départ une division entre « *mécanique rationnelle* » et « son application immédiate [...] aux usages de la société », la « *mécanique pratique* »⁵⁹ ; bref, entre science et science appliquée. Dans une autre préface, l'auteur précise encore que cette « mécanique appliquée aux arts n'est qu'une partie de la technologie, science immense, qui renferme le domaine entier de l'industrie humaine ». Cette technologie comprend trois branches : l'architecture technique, qui désigne chez Borgnis ce que nous appellerions aujourd'hui le *design* dans le sens plein et entier du terme⁶⁰ ; la chimie usuelle et la mécanique appliquée aux arts, applications des sciences correspondantes. Ensuite, dans la préface du neuvième tome, le plus théorique, il divise la « mécanique usuelle » en deux parties :

« L'une *technique*, a pour but l'examen des machines et des détails de construction [comprendre composition] qui leur sont relatifs ; l'autre *théorique*, renferme les diverses méthodes de calculer leurs effets, de déterminer les dimensions, les formes et les dispositions les plus avantageuses de chacune des parties qui les composent. »⁶¹

Ajoutons enfin que dans le troisième tome, Borgnis précise que la mécanique usuelle technique se divise entre la description des éléments de machines, qui fait l'objet de son premier tome, et des machines complètes, dans les sept autres tomes, le neuvième tome étant dédié à la mécanique théorique (voir Figure 11 : p. 163). Le plan est inverse de celui

⁵⁹ Joseph-Antoine BORGNIS, *Traité de mécanique*, op. cit., tome1, « Discours préliminaire ». Il utilise encore les expressions de mécanique usuelle et de mécanique appliquée aux arts.

⁶⁰ *Ibid.*, tome 3, « Préface » : « J'appelle *architecture technique* celle qui détermine les formes et les ornements des diverses productions de l'industrie ; comme les autres espèces d'architecture, elle a pour base le dessin ; soumise, comme elles, aux règles de convenance, de proportion, d'eurythmie, de symétrie, son but principal est de remplir avec simplicité, économie et solidité toutes les conditions exigées par la destination de chaque objet. Elle dédaigne ce qui superflu ; car elle sait que la surabondance s'allie difficilement avec la beauté réelle. ». Borgnis décrit alors sur plusieurs pages l'évolution de cette *architecture technique*. Il souligne. Notons ici que Borgnis accorde une grande importance à cette architecture technique, puisque mécanique et chimie usuelles ne dirigent que « l'exécution des objets dont l'architecture technique a fixé la configuration. ».

⁶¹ *Ibid.*, op.cit., tome 9, « préface ».

de Leupold, mais la démarche est véritablement similaire. Ladislao Reti avait d'ailleurs montré comment certaines machines inventées par Francesco di Giorgio Martini se retrouvaient, via Zonca, Böckler, puis Leupold, dans le *Traité* de Borgnis (voir Figure 12 : p. 164)⁶². Cela témoigne du fait que Borgnis avait lu Leupold et sans doute d'autres théâtres de machines de la bibliothèque du CNAM.

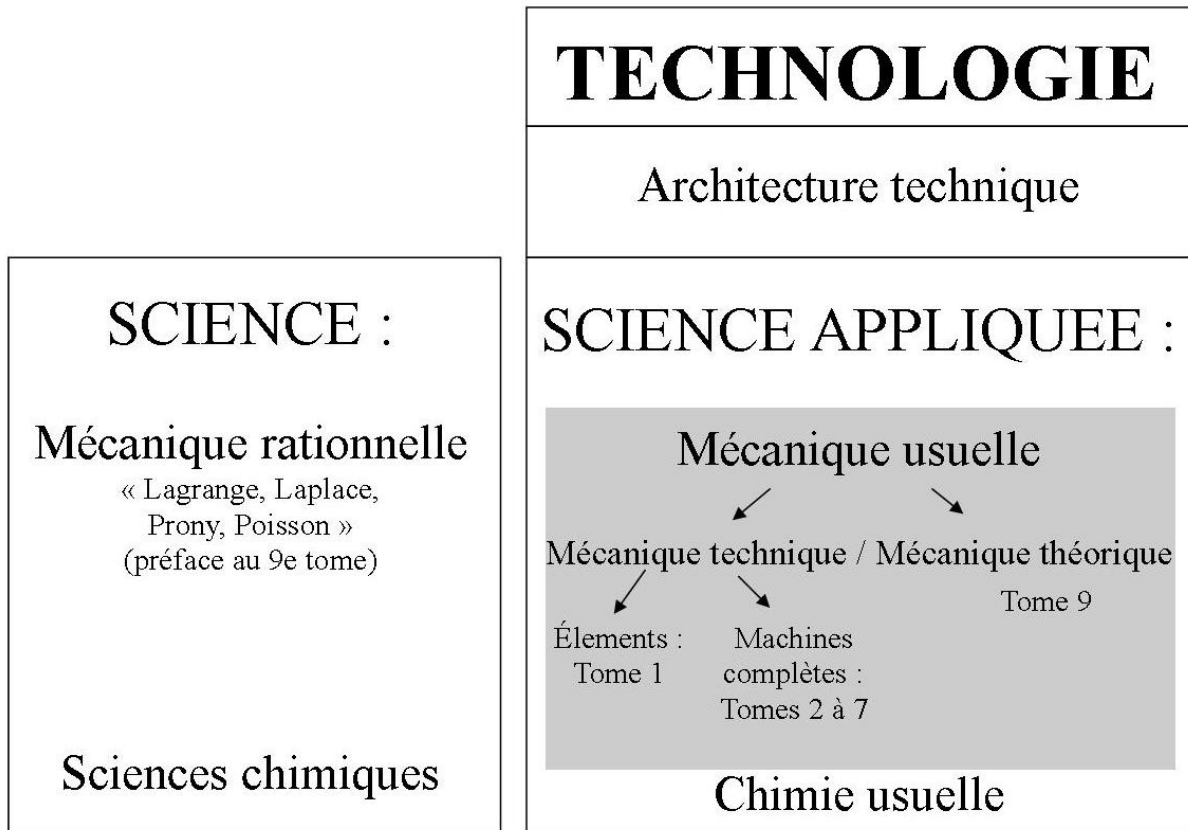


Figure 11 : Place de la technologie dans les connaissances d'après Borgnis

⁶² Ladislao RETI, « Francesco di Giorgio Martini's Treatise on Engineering and Its Plagiarists », *op. cit.*

MAIN STEPS IN THE TRANSMISSION OF FRANCESCO DI GIORGIO
MARTINI'S MECHANICAL PROJECTS

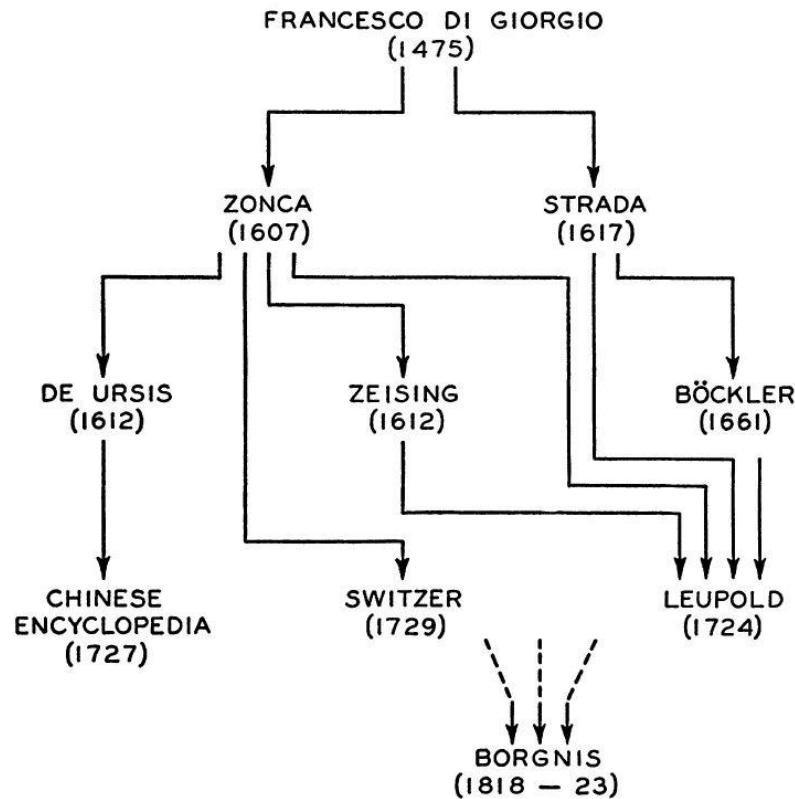


Figure 12 : Transmission de certains dessins mécaniques de Francesco di Giorgio Martini à Giuseppe Antonio Borgnis

Plus encore, l'ingénieur italien reprend une argumentation empruntée aux anciens théâtres de machines, en la modernisant un peu. Ainsi, la défense d'une position intermédiaire entre des savants qui ne connaissent pas la « foule de petits détails » auxquels se confrontent les constructeurs, et des praticiens qui « négligent ou ignorent les théories » et n'adoptent certaines méthodes que « par pure routine ». Un argument déjà en germe chez Besson et magistralement mis en avant par Leupold. Ainsi la référence à Archimède et sa défense de Syracuse, reprise dès les premières lignes du discours préliminaire. Ainsi encore, la nécessité d'un travail régulier pour féconder le « germe du génie ». Ainsi toujours l'idée d'un public large, d'ingénieurs certes, mais aussi de « constructeur[s], et en général [de] toute[s] personne[s] qui par goût ou par état s'occupe de machines ». Ainsi enfin, l'importance accordée à l'expérience, dans l'élaboration des théories :

« Qu'est-ce qu'une théorie ? Une théorie n'est autre chose que la réunion régulière, que l'enchaînement méthodique de tous les faits relatifs à un effet quelconque naturel ou artificiel ; et ces faits sont donnés par l'expérience. / Une théorie peut s'acquérir de deux manières : par l'étude, et par une longue expérience, dirigée par un esprit juste et pénétrant. »⁶³

Les thèmes de l'argumentation utilisés à la fin du XVI^e siècle, où le statut d'ingénieur était en gestation, sont d'autant plus repris et modernisés que Borgnis est conscient de la nécessité de former une nouvelle classe d'ingénieurs dans cette période riche pour l'industrie : « La fin du dernier siècle et le commencement de celui-ci fourniront à l'histoire de l'industrie une de ses plus belles pages. »⁶⁴. Il faudrait d'ailleurs ajouter à tous ces arguments, les belles pages du troisième tome sur l'architecture technique, le style et la forme des machines. Rares sont en effet les considérations esthétiques chez les ingénieurs du début du XIX^e siècle. Plus rare encore le rapprochement entre l'évolution des formes de mécanismes et des arts de la période. Il y a là la marque d'une connaissance approfondie d'ouvrages et de recueils de machines illustrées, et une adhésion à cette nécessaire accointance entre le style d'une époque et la forme des machines de celle-ci. C'est une façon de s'approprier l'aspect le moins technique, le plus courtisan des théâtres de machines anciens, dans lesquels il va parfois chercher quelques unes des machines qu'il décrit.

Paradoxalement, malgré l'importance de cet héritage, jamais Borgnis ne cite les auteurs des théâtres de machines dans ses préfaces, à l'unique exception de la mention d'une fontaine de Salomon de Caus. Les savants et inventeurs du XVIII^e siècle sont quant à eux régulièrement cités. Même disparité dans son *Dictionnaire*, qui comprend plusieurs entrées sur les inventeurs du XVIII^e siècle (Watt, Vaucanson, Montgolfier), mais ne mentionne ni Leupold, ni Ramelli, ni même Salomon de Caus. Seul Jacques Besson, clin d'œil au fondateur de cette grande tradition littéraire, a une entrée.

Pourquoi ce silence sur une tradition que non seulement Borgnis ne peut ignorer, mais sur laquelle il s'appuie ? En reprenant la démarche modernisatrice de Leupold, Borgnis écrit son propre théâtre de machines, renouvelle le genre, et cherche à fonder par là quelque chose de nouveau. Or, cela semble toujours plus facile, quand on se pose en

⁶³ Joseph-Antoine BORGNIS, *Traité de mécanique*, op. cit., tome 1, « Discours préliminaire ».

⁶⁴ *Ibid.*, tome 6, « Préface ».

fondateur, de ne pas citer les traditions sur lesquelles on s'appuie. Cela accentue le caractère novateur de la démarche.

Cependant, le principal n'est pas là. Un autre argument récurrent court sous la plume de Borgnis, prenant plus ou moins d'importance selon les tomes. Loin de se penser comme le fondateur d'une nouvelle littérature *ex-nihilo*, l'auteur insiste sur l'existence d'une importante littérature mais dispersée et parfois difficile d'accès : des livres « rares ou très coûteux » qui désignent sans doute ces théâtres de machines plusieurs fois centenaires pour la plupart.

« Notre but a été de former une collection complète, autant que possible, des moyens mécaniques que les arts industriels emploient. Un grand nombre de ces moyens avaient été, il est vrai, précédemment décrits ; mais, se trouvant disséminés dans une foule d'ouvrages rares ou très coûteux, ils échappaient, la plupart, aux recherches des personnes qui avaient intérêt de les connaître. [...] Réunir les descriptions des uns et des autres ; les classer méthodiquement ; les mettre convenablement en œuvre ; évitant tout à la fois l'exubérance et l'obscurité ; ajouter à la description de chacun de ces objets, les résultats des expériences qui, dans les divers cas, en font connaître les avantages et les inconvénients ; telle était la marche que nous nous proposons de suivre. Notre ouvrage étant spécialement consacré à l'utilité des artistes... »⁶⁵

Réunir, classer avec méthode, compléter et mettre à la disposition du public. Ces objectifs de la mécanique « technique » épousent les principes fondamentaux de la réduction en art. L'ouvrage de Borgnis est enfin parvenu à réaliser ce qui n'avait pas pu être fait dans la littérature antérieure, à savoir réduire en art la composition, la construction, et le calcul de l'effet des machines. En le faisant de façon encyclopédique et en s'attachant à théoriser les normes opératoires de la conception mécanique, Borgnis met ainsi en place cette technologie des machines que Leupold n'avait qu'effleurer. Les anciens théâtres de machines, y compris dans la forme modernisée par Leupold se retrouvent, de fait, obsolètes. Cependant, afin, de bien comprendre la dette de Borgnis envers cette tradition, il nous faut désormais revenir sur ses évolutions.

⁶⁵ *Ibid.*, tome 8, « Préface ».

Partie II : Les premiers théâtres de machines et l'émergence de l'ingénieur (1570-1670)

Chapitre 5 : Légitimer la conception de machines

D'abord outils au service de la carrière personnelle de quelques ingénieurs, les livres de machines ont aussi servi des entreprises de glorification personnelle et familiale. Ce faisant, ils ont produit un discours général sur l'ensemble de la discipline, visant à légitimer la mécanique et la place des ingénieurs dans la société. Toutes les armes éditoriales sont utilisées : dédicaces, préfaces et autres pièces liminaires, mais aussi mise en scène des machines, frontispices et remarques distillées dans les explications.

Ce qui est en jeu, c'est l'autonomisation de la conception de machines. Non que ce soit une activité nouvelle, mais la volonté de la séparer des métiers existants, de lui donner une place à part et médiane entre arts mécaniques et arts libéraux n'est pas une évidence acceptée par tous. De plus, c'est un métier dans lequel on ne rentre plus tant par expérience, mais par l'étude. Afin de prévenir les craintes d'une telle innovation dans la formation et l'organisation du travail, les auteurs proposent une argumentation solide et mettent en place des récits, qui permettent d'intégrer ce nouveau métier dans le cadre de pensée existant¹.

Mettre la mécanique en récit

« Bâtir une identité passe par une mise en récit » nous dit Anne-Françoise Garçon². Dans ce lieu – les théâtres de machines – où la pensée technique européenne bascule de l'oralité vers l'écrit, du geste vers sa description, en un mot de la « pratique » vers la « technique »³, nous aurions pu penser que toute forme de récit mythologique serait mis de côté pour privilégier la rationalité d'un discours argumenté. Ce serait oublier que ce passage si important pour la culture technique européenne s'accompagne de l'émergence d'un nouveau groupe social. Comme tout groupe humain, les ingénieurs, ou plus largement les inventeurs de machines, ont besoin de récits fondateurs. Ces derniers

¹ Comme le disaient Hélène Vérin et Louisa Dolza : sous la rhétorique apparaît une transgression : Luisa DOLZA et Hélène VERIN, « Une mise en scène de la technique : les théâtres de machines », *Alliage*, 2002, n° 50-51.

² Anne-Françoise GARÇON, *L'imaginaire et la pensée technique*, op. cit., p. 24.

³ Sur les régimes de la pensée opératoire, voir *Ibid.*, l'index donne plusieurs entrées dans tout l'ouvrage.

leur permettent de mettre en place à la fois un fondement identitaire commun et une éthique générale. Ingénieurs civils, ingénieurs militaires, architectes-ingénieurs, les sous-groupes professionnels ou nationaux ont tous leur propre culture, mais nous observons ici une volonté d'inscrire ces identités diverses dans un groupe commun, qui partagerait une idée similaire de leurs origines et de leurs missions. Plus savante, la mécanique n'en demeure pas moins une technique qui nécessite d'être mise en récit pour être intelligible aux acteurs de cette histoire comme à leurs spectateurs, envers qui il faut justifier la nouveauté que constitue l'autonomisation de la conception mécanique.

Les livres d'inventions et les théâtres de machines sont un des lieux majeurs où se déploient ces récits, à la fois légitimants, identitaires, et moraux. Certains ingénieurs, notamment les plus cultivés, comme Agostino Ramelli et Salomon de Caus sont assez prolixes en la matière⁴, et ils ne sont pas les seuls. Éditeurs humanistes, doctes architectes, nobles savants, d'autres auteurs et commentateurs de livres de machines ont participé à l'écriture de ces divers récits, et à leur mise en image dans des frontispices souvent extrêmement riches symboliquement⁵. L'ensemble de ces discours emprunte à diverses traditions. L'imprimerie, la redécouverte des auteurs de l'Antiquité et l'émergence d'un protestantisme qui promeut la lecture personnelle des écritures saintes, favorisent un mélange des différentes traditions. Cela permet aux auteurs de replacer l'ingénieur et la mécanique dans une cosmogonie chrétienne, mise en lien avec une histoire païenne, tout aussi glorieuse. Par ailleurs, les multiples références à l'Antiquité leur permettent aussi de profiter de l'aura de différentes « autorités » reconnues, prises comme modèles.

Les origines chrétiennes de la mécanique

Plusieurs auteurs cherchent à inscrire la mécanique dans une très longue histoire, remontant parfois aux origines de l'humanité. Agostino Ramelli, notamment, déroule une longue chronologie qu'il fait débiter avec Adam, avec l'origine de l'humanité. Il lie en effet

⁴ Concernant Ramelli, Adriano Carugo a montré que la préface du *Diverse et artificiose Machine* (1588), reprend des passages de grands mathématiciens de la Renaissance, comme Guidobaldo del Monte ou le jésuite Clavius. Cf. Agostino (1531-1600?) RAMELLI, Giustina SCAGLIA, Adriano CARUGO et Eugene S FERGUSON, *Le diverse et artificiose machine* (1588), Milano, Il Polifilo, coll. « Libri rari », n° 9, 1991.

⁵ Pour les frontispices, voir Annexe 3 : « Extraits de théâtres de machines », p. IV.

la Chute aux besoins matériels de l'humanité (Adam condamné à travailler pour nourrir sa famille) et donc à la nécessité de l'art mécanique. Salomon de Caus aussi fait référence à la Genèse : il remet en cause la mythologie grecque qui fait remonter l'invention des instruments de musique à Mercure et le travail du fer à Vulcain, pour lui substituer des origines chrétiennes : à Youba il attribue l'invention des instruments de musique et à Tubal-Caïn, celle de la forge⁶. Sans préciser l'inventeur pour tous les autres types d'objets, Salomon de Caus ironise en général sur les croyances des païens qui « ador[e], comme ils [l']ont fait [de] tous ceux lesquels ont esté les premiers inventeurs des choses nécessaires à l'homme, mais de ces premiers inventeurs n'avons aucune cognoissance d'aucune machine par eux inventee »⁷.

Plus qu'une liste des inventeurs, les différents auteurs cherchent dans l'histoire chrétienne et l'histoire gréco-romaine des modèles à suivre, des *exempla*, des personnages qui témoignent de l'ancienneté et de la légitimité des rapports souverain/ingénieur/technicien qu'ils cherchent à mettre en place. Parmi les exemples chrétiens, l'histoire du sage roi Salomon est plusieurs fois reprise, notamment dans les poèmes liminaires des *Raisons des forces mouvantes*, qui comparent le roi hébreu et son ingénieur homonyme. Mais c'est surtout Henning Grosse, dans sa préface au troisième tome des *Theatri machinarum* qui trouve dans l'ancien testament des exemples d'ingénieurs intéressants. Ainsi cite-t-il Bessalel dans l'Exode, ou encore « Himarabi de Sidon et d'autres » dans les livres des Rois et des Chroniques⁸. Les références de Zeising visent à montrer que Dieu a donné l'ingéniosité aux hommes et qu'il continue à le faire. L'idée d'une source divine de l'*ingenium* apparaît ici clairement. Ambroise Bachot n'hésite pas à reprendre cette idée à son compte, mentionnant « les rayons que Dieu m'a départi »⁹, mais la plupart des auteurs préfèrent mettre en avant la nécessité du travail et reprennent rarement cette idée aussi directement.

⁶ Youba et Toubal-Caïn sont deux descendants de Caïn, et la Genèse (4, 19-22) mentionne en effet les origines de la musique et de la forge. Salomon de Caus mentionne le chapitre de la Genèse en marge.

⁷ Epître au lecteur dans Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes*, op. cit.

⁸ ZTM3. Il donne les références, dans le texte pour Bessalel (Ex 28, 35, 36 et 38), ou dans la marge pour Himarabi de Sidon et les autres (3 Rois (=1Rois) 5 ; 1Ch. 12, 15 ; 2Ch. 2, 13-15).

⁹ Citons encore « la semence dont il plaist au Ciel parsemer mon champ » dans la dédicace à Jean-Louis de Nogaret, dans Ambroise BACHOT, *Le Timon*, op. cit.

À se pencher sur la description biblique des personnages cités, peut-être plus que Zeising ne le fait lui-même, une nouvelle dimension apparaît. Bessalel était chargé de construire la tente du culte dans le désert du Sinaï où se trouve le peuple d'Israël. Houram-Abi était quant à lui chargé de la construction du temple de Jérusalem. Comme les ingénieurs, ils obéissent à des « rois » (Moïse pour le premier, Salomon pour le second). D'autres caractéristiques les réunissent. D'abord, ce sont des hommes polyvalents. Du premier, l'*Exode* dit qu'« il peut réaliser n'importe quel objet »¹⁰ ; quand le second sait travailler toutes les matières des métaux précieux au bois, des pierres au textile¹¹. Les modèles que Leupold présente sont des personnes qui ont une connaissance universelle des arts. Plus intéressant encore, Bessalel « sait élaborer des projets [...il a] le don d'enseigner ces techniques [... et a] le talent du dessinateur », de même Himarabi « connaît aussi l'art de la gravure ; il saura même élaborer n'importe quel projet qu'on lui confiera ». Les personnages présentés savent donc dessiner, élaborer des projets¹², et l'un d'eux est même pédagogue. Les discours ne présentent pas simplement des inventeurs mythiques, les patrons de divers métiers artisanaux, mais des hommes de connaissances, capable de mener des chantiers importants, et dont le savoir de conception est mis en avant.

De ces origines bibliques, les auteurs passent assez vite à des références antiques, d'autant mieux connues que des écrits des auteurs cités sont parvenus jusqu'à la Renaissance. Seul Ramelli fait un lien entre les deux périodes, en insistant sur les mathématiques. Pour l'ingénieur franco-italien, Abraham est décrit comme un savant mathématicien, et les Chaldéens comme un peuple savant dans cette matière. Des Chaldéens, le savoir mathématique aurait été transmis aux égyptiens, des égyptiens aux grecs, et des grecs aux pères de l'église que sont Saint Augustin et Saint Jérôme, ceux-ci rappelant combien les mathématiques sont nécessaires à la compréhension des Écritures. Salomon de Caus ajoute à cette chronologie la période médiévale, après l'invasion de Rome par les Goth et pendant laquelle « les peuples de l'Europe ne firent

¹⁰ Ex. 35, 30-33.

¹¹ 2Ch. 2, 12-3.

¹² La proximité du dessin avec toute activité de conception (de *design* au sens plein du terme) est évidente au regard de l'histoire moderne et contemporaine jusqu'à la seconde moitié du XX^e siècle. Sur l'enseignement du dessin au XVIII^e siècle, voir Renaud d'ENFERT, *L'enseignement du dessin en France: figure humaine et dessin géométrique (1750-1850)*, Paris, Belin, 2003.

plus aucun compte des arts, jusques à la venue de trois grands Princes ». Il s'agit de Charles V de Habsbourg, François I^{er} de Valois, et Henri VIII d'Angleterre, auxquels s'ajoute le pape Sixte VI, qui favorisèrent les arts, notamment la peinture (Dürer, Michel-Ange, Raphaël) pour l'Empire et Rome, et les mathématiques (Pierre Ramus, Oronce Fine) pour la France, de même que Besson et Ramelli. Mais dans ces chronologies, la plupart des auteurs retiennent surtout les autorités grecques et romaines : les premiers pour leurs connaissances mathématiques et mécaniques, et les seconds pour la réputation de leurs ingénieurs.

La mécanique et l'Antiquité gréco-romaine : modèles et autorités

Plus souvent à côté que dans la continuité de ce récit biblique des origines, la grande majorité des auteurs fait donc référence à des personnages, savants, philosophes, dirigeants et ingénieurs de l'antiquité grecque, et, dans une moindre mesure, romaine. Ces modèles sont présents aussi bien dans les discours liminaires que sur les frontispices.

En premier lieu, ces discours ont pour objectif de donner aux inventeurs des ascendances prestigieuses. Agostino Ramelli et Salomon de Caus, dans leur souci de réaliser une histoire cohérente et de rechercher les origines de la mécanique citent de nombreux ingénieurs. Ramelli cite ainsi de nombreux mathématiciens grecs, parmi lesquels Platon ou encore Pappus d'Alexandrie. Salomon de Caus semble bon connaisseur de l'école d'Alexandrie, et mentionne ainsi Ctésibius, Philon de Bizance et bien sûr Héron, représenté sur le frontispice des *Raisons des forces mouvantes*. Ce dernier a semble-t-il largement inspiré Salomon de Caus, notamment dans sa description des machines et fontaines pneumatiques et des jeux d'eau. Cette ascendance particulière que se donne l'ingénieur hydraulicien lui est cependant assez particulière, et est sans aucun doute liée à son goût pour les fontaines. Toutefois, il n'est pas le seul auteur à utiliser le principe des vases communicants, Besson (figure 51) et Ramelli (figure 184 et 185) par exemple, le font aussi.

De même, parmi les références antiques assez discrètes mais intéressantes, nous trouvons Dédale. Il est cité une première fois par Ambroise Bachot pour qualifier Ramelli, « vray Dedal architecte » à son dédicataire. L'auteur file la métaphore, qualifiant ses

explications d'« aile de parole escripte », qu'il faut protéger au risque que « ceste faible ayle de Cire se fondroit tost, tant au Soleil des artistes esprits, que aux chauds bouillons des Mornes envieux, qui remordent tout ce qui n'est de leur boutique ». L'idée de rester dans un juste milieu est déjà présent dans ces discours. De la même façon, c'est la scène de la chute d'Icare qui est représenté dans un bandeau typographique au début des *Machinae Novae* de Fausto Veranzio. Nous y voyons le Labyrinthe et la mer, ainsi que, dans le ciel, un Dédale en majesté et Icare qui chute¹³. Inventeur, sculpteur et architecte, Dédale a en effet de quoi séduire les inventeurs. Mais en représentant le moment de la chute d'Icare, le bandeau rappelle visuellement à la fois la réussite de l'inventeur et la fragilité de l'invention devant ceux qui ne savent écouter celui qui sait s'en servir. Ces références au mythe de Dédale peuvent représenter à la fois la supériorité de l'ingénieur sur les autres métiers et ses limites face aux « artistes esprits ». Elles dessinent donc un entre deux.



Figure 13 : Bandeau typographique utilisé dans Fausto Veranzio, *Machinae Novae* (Venise, vers 1595)

Un autre architecte est aussi quelque fois cité : Vitruve, architecte romain du I^{er} siècle avant Jésus-Christ, « dont les escrits sont assez cogneus »¹⁴. À la Renaissance en effet, son influence est visible, même dans les cas où il n'est pas cité. Rappelons qu'au XVI^e siècle, les dix livres de son traité d'architecture ont été traduits en différentes langues et largement commentés¹⁵. C'est le dixième livre qui importe surtout aux inventeurs. Portant

¹³ Veranzio fait d'ailleurs preuve d'un certain pessimisme concernant la postérité de ses inventions. C'est une des raisons de la publication des *Machinae Novae*. Sur les questions de paternité, voir *infra* « Défendre la paternité de ses inventions », p. 224.

¹⁴ Préface à Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes*, op. cit.

¹⁵ Citons la traduction de Jean MARTIN (dir.), *Architecture, ou art de bien bastir de Marcus Vitruve Pollion [...] mis de latin en françois*, par Jean Martin, Genève, Jean de Tournes, 1618. en français, celles de Cesare CESARIANO (dir.), *De architectura*, op. cit. et Daniele BARBARO (dir.), *Architettura di Vitruvio*, op. cit. en italien, et celle de Gualtherus H.

sur les machines, il donne parfois lieu à des développements sur la *statique* et l'effet du levier, et surtout, indique la provenance de plusieurs inventions. Salomon de Caus le cite abondamment, démontrant par là la profonde connaissance d'une œuvre qu'il avait projetée de traduire¹⁶. Vitruve est aussi représenté sur le frontispice des *Desseins artificieux* de Jacob Strada¹⁷. Coiffé du bonnet des maître-artisans médiévaux, Vitruve y tient une règle, un compas et des dessins ou des plans sous le bras. Ce qui est signifié ici c'est la capacité de Vitruve à ordonner les choses, les savoirs, mais aussi les projets. Vitruve est celui pour qui l'architecture, art du projet par excellence, comprend la fabrication des machines. Pourtant, architecte il demeure, et face à lui sur le même frontispice est représenté le personnage auquel les différents auteurs font le plus référence : Archimède.

Archimède, s'il n'est pas considéré comme le père de la mécanique, est toujours présenté comme un des maillons les plus importants de la chaîne historique. Il est la personnalité grecque qui développe la mécanique, qui lui donne sinon les premiers, du moins les meilleurs écrits. Son traité sur les poids et les choses tombantes est sans doute son ouvrage le plus connu des ingénieurs¹⁸, comme en témoigne notamment sa représentation classique avec une balance romaine en main sur les frontispices de Strada et de Salomon de Caus¹⁹. Des sphères sous forme de bulles soufflées par des angelots représentés sur le frontispice des *Raisons des forces mouvantes* et sur le cinquième tome des *Theatri Machinarum* de Zeising font référence à un autre écrit célèbre : son traité sur les sphères. Cette posture savante particulièrement accentuée dans sa représentation sur le frontispice du *Theatrum machinarum novum* de Böckler, où, compas, équerre et livre à la main, il est placé au dessus d'un dessin géométrique sur le cercle et le losange, et sous un « Studium » placé au dessus de la colonne²⁰.

RIVUS (dir.), *Vitruvii von der Architectur*, op. cit., cité par Zeising, en allemand.

¹⁶ Voir la notice sur *La Perspective* de Salomon de Caus par Jean-Pierre Le Goff sur « Architectura », op. cit.. Le manuscrit qui en témoigne est conservé à la bibliothèque de Valenciennes (ms 339 (327)).

¹⁷ Il est aussi représenté sur le frontispice du *Machine* de Giovanni Branca.

¹⁸ ARCHIMEDE et Pierre Traduction FORCADEL, *Le Livre d'Archimède des pois qui aussi est dict des choses tombantes en l'humide, traduit et commenté par Pierre Forcadet de Bezies*, Paris, France, Ch. Périer, 1565, 35 p.

¹⁹ Le frontispice du TM1 de Zeising représente aussi une femme tenant la même balance romaine. Le frontispice de Besson représente sans doute aussi Archimède sur la gauche, voir Annexe 3 : « Extraits de théâtres de machines », p. VI.

²⁰ Il s'oppose ici à un « Mechanicus » anonyme, placé sur une colonne en regard. Pour plus de détails, voir Annexe 3 : « Extraits de théâtres de machines », p. VI.



Figure 14 : Frontispice de la première partie des *Kunstliche Abriss* de Jacob Strada (Francfort, 1617)



Figure 15 : Frontispice des Raisons des forces mouvantes de S. de Caux (Francfort, 1615)

Cependant, pour la plupart des auteurs, Archimède est présenté à la fois comme savant et comme praticien, un homme de l'entre deux, l'idéal d'un juste milieu entre théorie et pratique. Ainsi dans le frontispice de Strada où, coiffé du bonnet des artisans, il tient sa balance romaine et un imposant codex, montrant son activité livresque et savante. Cette ambiguïté se retrouve chez Salomon de Caus, qui le représente certes en toge, mais concentré sur sa balance et son travail.

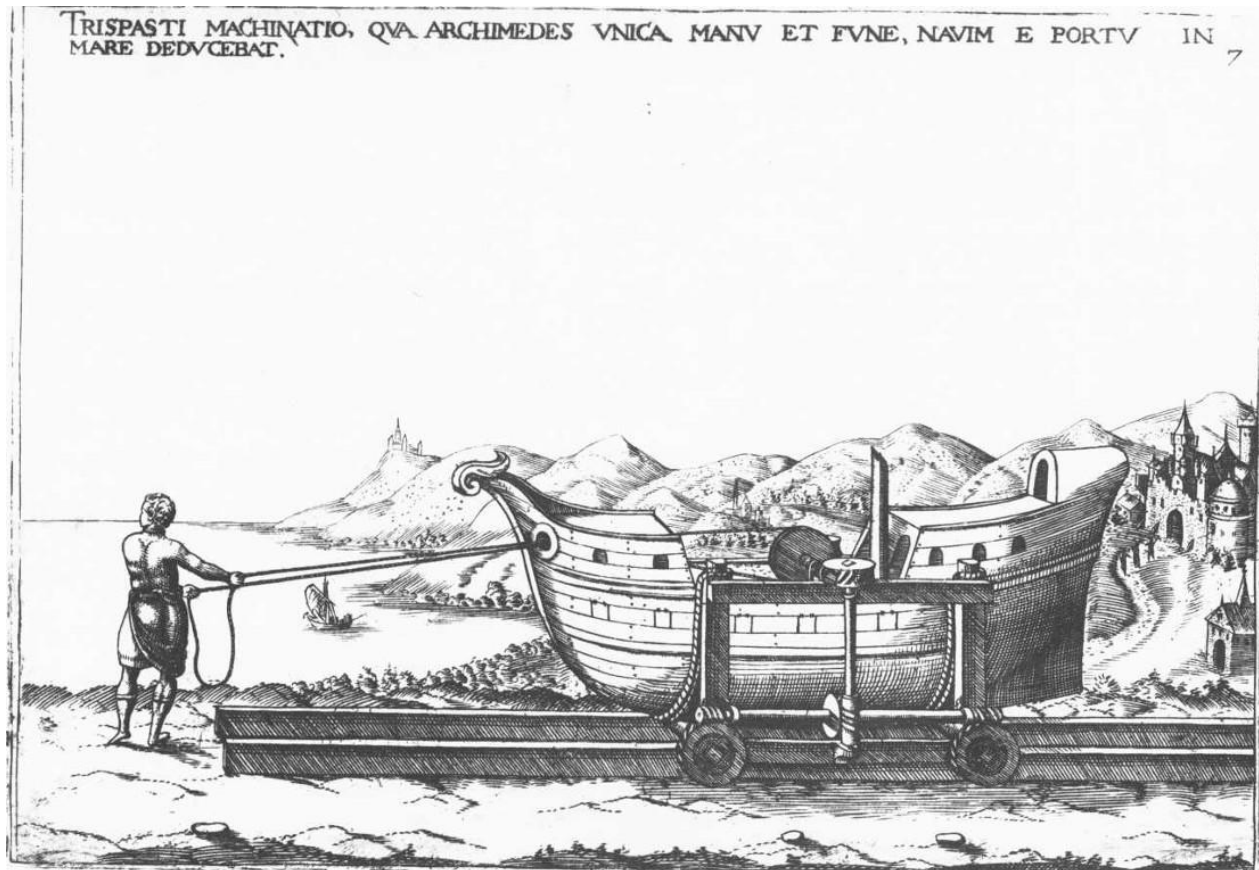


Figure 16 : Recherche d'Errard sur le treuil d'Archimède. Figure 7 de J. Errard, Le premier livre des instruments mathématiques et mécaniques (Nancy, 1584).

C'est que plus encore que les écrits de l'ingénieur syracusain, ce sont ses réalisations, racontées par les historiens antiques qui retiennent l'attention des auteurs. Il y a d'abord ses inventions, comme la vis d'Archimède, les engrenages, la poulie, ou la sphère armillaire, que quelques uns figurent sur leurs frontispices (Caus, Zeising), et parfois décrivent dans leur livre (Errard, Ramelli, Caus, Zeising). Mais, parmi ses réalisations, les plus célèbres sont celles qui sont liées à son poste d'ingénieur auprès du tyran Hiéron de Syracuse. Ses machines de guerre contre le romain Marcellus sont ainsi

louées par Ramelli ou encore par Salomon de Caus. Plus encore, Archimède, par l'histoire de ses réalisations, donne aux inventeurs, et singulièrement à Jacques Besson et Jean Errard une occasion de faire valoir leur propre ingéniosité, cherchant à « retrouver » son treuil qui lui permit d'amener de terre en mer un bateau entier avec une seule main, ou sa grue pour soulever un navire. La référence à Archimède est si consensuelle et universelle, que Besson se contente de mentionner son nom pour faire taire toute critique de la mécanique : « par quoy il faudra necessairement selon leur opinion que tout ce qu'a fait Archimedes et plusieurs autres mathematiciens et architectes industrieux et dignes de grande louange et mémoire aura esté manqué »²¹.

Placée dans cette généalogie antique, et intégrée dans la cosmogonie chrétienne, la mécanique mise en récits permet aux auteurs de légitimer à la fois l'existence des ingénieurs et leur place dans la société. Il reste cependant à justifier leur activité, et cela se fait moins par le récit des origines que par une argumentation rationnelle, permettant aux auteurs de montrer combien ils répondent aux besoins de leur époque.

La mission des ingénieurs

« L'action n'est pas en soi finalisée, l'action technique, si. »²²

L'action technique, et la construction de machine en est une, a une finalité, est dirigée par sa fin. Quel est alors cet objectif que se fixent les auteurs aux inventions qu'ils décrivent ? Cette question nécessite de définir la machine et sa raison d'être, mais peu d'auteurs le font explicitement. Qu'est-ce qu'une machine ? La question, pourtant au fondement de leur activité, demeure souvent en suspens. Salomon de Caus est le seul à en proposer une définition claire, en reprenant celle de Vitruve : « un assemblage & ferme conjonction de charpenterie, ou autre materiel, ayant force & mouvement, soit de soymesme, où par quelque moyen que ce soit »²³. Pour lui, c'est le mouvement qui fait la machine, compris d'abord et avant tout comme une construction matérielle. En tant que telle, comme nous le précise Pascal Dubourg-Glatigny, la machine n'est qu'un

²¹ « Préface » de Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.*

²² Anne-Françoise GARÇON, *L'imaginaire et la pensée technique*, *op. cit.*

²³ Définition à comparer avec la première phrase du premier chapitre du livre X de Jean MARTIN (dir.), *Architecture de Vitruve*, *op. cit.* : « Machine est une ferme conjonction ou assemblage de pieces de Charpenterie ayant une singulières & merveilleuse force à l'endroit du mouvement des fardeaux ».

sous-ensemble de la catégorie plus large des instruments qui « se réfère[nt] à tout opérateur de changement ou moyen d'interprétation qu'il soit mécanique, physique ou intellectuel ». Matérielle donc, la machine désigne « un ensemble, généralement d'une certaine ampleur, de parties coordonnées pour parvenir à un résultat »²⁴.

Utilité des machines

Amplitude, matérialité, mouvement, voici ce qui distingue la machine d'autres constructions, y compris intellectuelles. Si aucun auteur ne contredit cette définition, ils sont rarement aussi précis. Cela s'explique par un sens implicite du mot « machine » déjà bien installé non seulement dans les rangs des ingénieurs, mais aussi dans toute la société. Cela montre surtout que ce n'est pas le point qui cristallise l'identité de la profession. Celle-ci insiste bien davantage sur l'utilité et le plaisir que procurent les machines. « Le proffit et commodité du public »²⁵ sont ainsi les premières justifications avancées, répétées à l'envie dans toutes les dédicaces et préfaces de théâtre de machines :

« Donc quant à l'utilité, & l'estime qu'on en doit faire ; n'est ja besoin d'en tenir long propos, comme de chose par tout connue, & quant à la nécessité, l'expérience en pouvant assez parler, tant en temps de paix que de guerre. Mais d'autant que telles machines se font non seulement avec grands efforts & grands frais ou dépens, mais aussi bien commodément avec quelques avantages, qu'on peut avoir, & en l'un & en l'autre : ceux là à bon droit sont estimés louables, qui en ayant quelqu'expérience, tâchent de publier, pour le bien public & de la Patrie, ce qu'ils en savent, & enseigner, comment on se doit servir de toutes les commodités qui se peuvent présenter. »²⁶

Octave Strada résume bien, dans ces quelques lignes, le principal argument de justification de la publication et de la légitimation des ingénieurs. Les machines sont estimées, malgré leurs dépenses, par l'utilité qu'elles apportent, par les avantages qu'elles procurent, à tous et en tous les temps, une universalité sur laquelle insiste Ramelli :

« je n'ay voulu cacher plus long temps ceste commune utilité qu'ores je vous présente : laquelle aydera grandement aux Roys et Princes non seulement pour

²⁴ Pascal DUBOURG GLATIGNY, « Mécaniser la perspective : les instruments entre pratique et spéculation », *op. cit.*

²⁵ « Dédicace au duc de Lorraine » dans Jean ERRARD, *Le premier livre des instruments mathématiques mechaniques*, Nancy, Jan Janson, 1584.

²⁶ « Au lecteur » dans Jacobus STRADA et Octavius STRADA, *La premiere [et seconde] partie des Desseins artificieux de toutes sortes de moulins*, [S.l., [s.n.], 1617.

gouverner en paix leurs Royaumes & Estats, & les dessendre en temps de guerre de leurs ennemis, mais aussi apportera commodité et profit à toutes sortes d'ouvriers, & à toute manière de gens, quand ils se voudront prevaloir avec convenables moyens, que j'ay proposé au monde, des artificielles machines & instrumens contenus en ceste mienne œuvre. »²⁷

Soyons toutefois attentifs à la grammaire de la phrase. Le livre n'est pas directement destiné à ces « ouvriers », mais au « Roys et Princes », non seulement pour eux même, mais aussi en ce qu'ils peuvent aider leurs sujets « ouvriers ». À la Renaissance en effet, le bien public et la prospérité ne viennent pas d'entrepreneurs ou des métiers, mais du prince administrateur, « gardien du bien de son peuple »²⁸. Le temps est à la construction de l'État, et l'économie des théâtres de machines et de leurs dédicaces est liée à ces constructions étatiques, dont l'administration des techniques est perçue, dès cette époque, comme un enjeu majeur²⁹. Ambroise Bachot, en comparant Jean-Louis de Nogaret au Nestor de l'Illiade, rappelle l'importance d'un chef de guerre sage et expérimenté. De la même façon pour les techniques civiles, Salomon de Caus rappelle à Louis XIII l'exemple d'Alexandre le grand refusant à l'architecte Dinocrates de Macédoine la réalisation d'un projet jugé trop dispendieux et inefficace au mont Athos au profit d'Alexandrie. L'idée est alors de former le souverain pour une bonne gestion technique de son État. Pour autant, l'argumentation dépasse largement ce cadre, et légitime, par l'utilité qu'elles apportent, la construction de machines et donc la place de leurs inventeurs.

Les machines, avant d'être comprises comme des constructions complexes sont d'abord et avant tout conçues comme un moyen artificiel de résoudre un problème, de combler un besoin ou de donner un avantage. Salomon de Caus lui-même divise ainsi son livre en une série de 35 « *problemes* » à chacun desquels correspond une machine, ou un mode de représentation de celle-ci. Fausto Veranzio ne manque jamais d'expliquer en détail le problème que ses machines venaient résoudre et l'avantage qu'elles procuraient. Ainsi explique-t-il l'utilité de ses moulins à vent horizontaux par l'absence de nécessité de tourner le moulin en fonction du vent, par la possibilité de supprimer

²⁷ « Aux bénins lecteurs » dans Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, Paris, chez l'auteur, 1588. Le mot « cacher » révèle ici le lien de cette utilité avec la levée du secret, dont nous verrons l'importance plus loin.

²⁸ Dédicace à Charles V de Lorraine dans Jean ERRARD, *Le premier livre des instruments*, op. cit.. La citation exacte est : « j'auseray le presenter à vostre Alteze, comme gardienne du bien de son peuple ».

²⁹ Cela sera encore le cas pour la publication au XVIII^e siècle des *Theatri* de Jacob Leupold, dans un période de mise en place du caméralisme, voir « Insérer la technologie dans le caméralisme », p. 329.

l'engrenage d'angle (rouet/lanterne) des moulins verticaux³⁰, et donc celui de ne pas avoir à monter et descendre les sacs de grains et de farine, le moulin étant plus bas.

L'affirmation de cette utilité universelle ne va cependant pas sans quelques conseils, notamment sur l'opportunité de leur construction. Ambroise Bachot développe ainsi toute une vision de l'invention, et notamment de la fortification en lien avec le terrain, mais c'est sans doute Jacques Besson, dans son manuscrit³¹, qui a su expliciter le mieux ce point concernant les machines :

« Item construits et employes en temps opportun, et outres composees de matiere propre, plus, assis en lieu convenable, voire et n'excedant le nombre et quantite de leurs parties outre ce qui appartient, davantage agitees et remuees de la main comme sont les membres des corps des animaux par l'ame et esperis vitaux... »³²

Une utilité opportune est donc ce qui définit prioritairement les machines et ce qui les justifie. Demeure cette question : en quoi les machines sont-elles utiles ? Il faut d'abord, avec Strada, faire une distinction entre la *nécessité* de certaines machines « pour l'entretien de cette vie » et l'*utilité* des machines en général, qui n'obéit pas obligatoirement à une nécessité vitale ou même économique. Les différentes légendes rédigées par les auteurs nous permettent de préciser cette notion d'utilité. Pour cela, nous utilisons un tableau réalisé par Hélène Vérin qui recense les justifications apportées par plusieurs auteurs de théâtres de machines³³. Il recense 18 caractéristiques et avantages types, explicitement cités dans les légendes des machines des livres de Besson, Errard, Bachot, Ramelli, Veranzio et Branca.

³⁰ Comme pour les roues à eau, nous désignons par roue verticale celles dont l'axe de rotation est horizontal mais la roue levée, et par roue horizontale celle dont l'axe de rotation est vertical mais la roue couchée.

³¹ Le manuscrit de Besson a été très peu lu et diffusé. Néanmoins, nous le verrons plus loin, la représentation des machines en contexte dans tous les théâtres de machines vient confirmer visuellement, cette idée de l'opportunité u temps, du lieu et des matériaux de la machine.

³² Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.*

³³ Publié dans Hélène VERIN, « « Comme en un infini » : les pouvoirs de la conception à la Renaissance », in *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Cerisy-la-Salle, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy, 2008, . Reproduit ci-dessous ici avec l'autorisation de l'auteur. Le tableau permet aussi de montrer combien la nouveauté apparaît comme une caractéristique importante pour Besson, Errard et Bachot (72%, livres d'inventions) et moins pour Ramelli, Veranzio et Branca (9,8%, théâtres de machines). Pour la différence entre livres d'inventions et théâtres de machines, voir *infra* « Chapitre 1 : Pourquoi publier un livre de machines ? (1569-1629) », p. 26.

Auteurs	Besson	Errard	Bachot	Ramelli	Veranzio	Branca
Nombre de planches	60	24	27	195	49	23
Subtilité, ingéniosité	5	4,16	7,4	2	6,12	8,5
Science mise en œuvre	28,33	37,5		1		13,04
Analogie avec une autre machine	18,33	62,5		32,3		
Nouveauté	100	79,16	37,03	2	14,28	13,04
Facilité, commodité	8,33	87,5	11,11	46,15	20,4	48,12
Maîtrise des effets <i>ad hoc</i>	23,33	33,33	29,62	29,74	36,73	17,39
Économie des forces	88,32	77,78	34,25	73,3	63,19	36,28
Moins d'hommes	23,33	16,66	3,7	46,66	24,48	13,04
Économie des moyens						
Espace, lieux, formes	10	4,16		5,11		13,04
Économie de temps	11,66	11,66	8,33		10,15	10,2
Durable	10			4,1	4,08	
Économie monétaire	3,33					
Économie des effets Grandeur relative	30	45,83	22,22	17,43	24,48	
Potentialités	70	54,16	18,5	109	34,68	90,47
Ajustable, pièce remplaçable				30		
Multiplicité des forces applicables				25	10,2	30,47
Multiplicité des usages. Situations, opérations	65	54,16	18,5	54	24,48	60

Tableau 10 : Caractéristiques et avantages de la machine³⁴

Cette analyse fait ressortir deux pôles auxquels les auteurs font référence dans plus de 60% des cas, à savoir les « potentialités » des machines (62,2%), et « l'économie des forces » qu'elles permettent (62,8%). Ces caractéristiques s'accompagnent de la mise en avant d'avantages congruents, comme la « multiplicité des usages » (46%) et la « maîtrise des effets *ad hoc* » (28,4%) qui va avec les potentialités des machines ; ou la « facilité, commodité », c'est-à-dire l'adoucissement de l'effort nécessaire (36,9%), ou « moins d'hommes » (21,3%) qui va avec l'économie des forces.

Le premier point insiste en fait sur la fonction de la machine, ce qui revient à définir les machines avant tout comme un sous-ensemble de cette catégorie plus large

³⁴ Références explicites dans les légendes et déclarations de figures. Pour pouvoir comparer les occurrences, le chiffre indique un pourcentage. Par exemple, la référence à l'ingéniosité apparaît dans 3 figures sur 60 chez Besson, soit dans 5% des figures.

« d'opérateur de changement » que M. Dubourg-Glatigny a mis en évidence. Désignant l'utilité de la machine, la fonction est ce qui, chez tous les auteurs, définit la machine, bien plus que ses éléments de construction. La grammaire des légendes en témoignent qui accole à un terme générique une fonction particulière (« Artifice pour... », « Invention pour... », « Façon de... », « Machine à... », « Sorte de... »). Jean Errard, par exemple, désigne une grue par la périphrase : « Nouvelle forme de machine propre pour descharger navires sur les ports & havres ou pour enlever quelques fardeaux ». Parfois le terme générique est plus précis (pompe, moulin), mais ne suffit jamais à nommer la machine, qui l'est principalement par sa fonction. Ainsi, selon la DMD, les textes de légendes des théâtres de machines précisent la fonction dans 95 à 100% des cas, contre 50% environ dans la littérature imprimée ou manuscrite antérieure et contemporaine³⁵. Cette fonction est la raison d'être de la machine, c'est la base de son utilité, c'est ce qui permet de « mettre en effect ses merveilleuses entreprises », comme le dit Ramelli à propos de la guerre³⁶.

Le second point est appelé à une belle postérité, qui insiste sur l'économie des forces. Bien que l'utilité ne se résume pas à la gestion de la puissance des machines, sur laquelle insiste notamment Giovanni Branca dans sa préface, elle en est une branche importante. C'est sur cette volonté d'économiser les forces que les savants insistent dans les deux siècles suivant. En réalité, derrière l'économie des forces, il y a, sans que cela ne soit toujours explicité, une valorisation économique de la machine, par l'économie de moyens et d'hommes nécessaires à son fonctionnement, comme Jacques Besson l'exprime encore dans sa préface manuscrite :

« [Les causes sortiront d'autant plus] leurs effects que leurs machinations seront plus exquises et approchant de ses trois commodités et conditions, assavoir qu'elles soyent promptes en action selon l'exigence du cas et puis de longue durée, et finalement de peu de despans, le tout au moins tant qu'il sera possible, afin que la mise ne surmonte ou l'accreation [la fabrication] ou la prise [l'aménagement nécessaire]. »³⁷

³⁵ Voir Annexe 5 : « Analyse de la « Database Machine Drawings » », p. VI.

³⁶ Sur le rôle de la fonction comme fondement du tri des machines, voir *infra* « Définir le sujet : la pensée par série », p. 238.

³⁷ Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.*

L'utilité d'une machine dépend donc de facteurs conjoncturels (« exigence du cas »), et si sa fonction est première, elle doit, dans toute la mesure du possible, obéir à un principe d'économie. Ce principe d'économie peut cependant passer au second plan quand la fonction de la machine est le divertissement.

Le plaisir dans les théâtres de machines

Qu'en est-il alors du plaisir dans les théâtres de machines ? Sur ce point, nous voyons se dessiner deux positions différentes, mais qui sont plus complémentaires qu'antagonistes. La première position consiste à définir certaines machines d'après leur fonction récréative, par opposition à toutes les autres dont la fonction économique est évidente. Ainsi Salomon de Caus sépare à la fin de son « Epistre au Lecteur » les machines « faites pour l'utilité commune, & les autres, [faites] pour le plaisir et ornement des Palais & Jardins »³⁸. Sans être aussi explicite, Ramelli qualifie ses fontaines de « belle[s] et plaisante[s] », « délectable[s] et artificielle[s] », dit qu'elles donnent « grand plaisir et contentement ». Henning Grosse reprend cette idée de classer fontaines et automates parmi les machines plaisantes dans les préfaces aux cinquième et sixième tomes des *Theatri*. Cependant, Jacques Besson est celui qui exprime le plus clairement cette fonction récréative de certaines machines dans son manuscrit, présentant « pour bercer l'esprit » un type de gourde permettant de ne pas « eschauffer » les boissons alcoolisées, suivie d'un tonneau à trois compartiments. Vers le milieu du livre, une « tierce pause et respiration, [il met] en avant une nouvelle façon de pupitre pour lire avec Recreation desprit et conservation de la veue ». Enfin, il dessine, sur sa 52^e planche, en guise de « quatriesme pause, [...] le portraict d'un horologe perpetuel avec une Resonance musicale ».

À ce plaisir-comme-fonction, certaines dédicaces aux princes font part d'une vision complémentaire du plaisir qu'apporte non les machines, mais la lecture des théâtres de machines. Cette idée est exprimée par Ramelli qui explique combien il espère que ses machines, « outre ce qu'elles apporteront plaisir & contentement non petit [à sa Majesté], quand elle estant distraicte aucunement de ses royaux affaires, prendra plaisir de les

³⁸ Epistre dans Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes*, op. cit.

lire ». De Besson à Strada, en passant par Zonca ou Bachot, les dédicaces présentent toutes des souverains « amateurs, comme de toutes autres honorables arts & sciences, ainsi aussi de celle-ci [la mécanique], mais aussi un promoteur d'icelles » (Strada)³⁹. Les livres sont donc présentés comme le moyen de satisfaire une curiosité pour les machines et la compréhension des mécanismes. Faisant de la lecture des livres de mécanique un loisir, un usage possible de l'*otium* noble, il les légitime par ce même biais.

Or, cette curiosité, cette activité de lecture et de recherche, fonde aussi la légitimité des auteurs. En effet, le lieu commun du prince amateur de mécanique se double d'un second lieu commun, très largement partagé par les auteurs, d'être porté par la curiosité. Ainsi, Fausto Veranzio explique qu'il lui suffit parfois « avoir contenté [son] esprit, & donné subject de discourir à ceux qui se plaisent en telles et semblables spéculations »⁴⁰. Une gratuité de l'étude mécanique chez ce noble inventeur, qui vient faire écho à ce que l'ingénieur de métier Jacques Besson expliquait dans la dédicace de son *Livre premier des instruments* :

« [J'ai eu] le désir et affection de parvenir à la cognoissance des choses rares & exquises : desquelle je fay maintenant profession & estat [...] et en recréer ceux de ma Patrie [...] ont fait que dès ma tendre jeunesse j'ay quitté les aises & plaisirs... »⁴¹.

Outre que ce « désir de connaissance » le classe du côté des savants, des artistes libéraux et non du côté des artisans, il permet d'insérer un autre lieu commun, que nous retrouvons sous la plume de presque tous les auteurs, à savoir l'idée que les inventeurs ont passé toute leur vie à travailler et étudier la mécanique. Se dessine ici l'image consensuelle de l'inventeur à la fois génial et travailleur, un travail le plus souvent inspiré par « l'amour que Dieu a inspiré envers leurs princes »⁴². L'ingénieur est « appelé » à étudier la mécanique gratuitement, par désir et sens du service, voire par philanthropie. Cela dit, ils doivent rester dans le cadre du loisir, de l'*otium*, certes studieux, mais seul à même de conserver à la mécanique son statut particulier. Ce statut nouveau, médian, que

³⁹ Dédicace au duc Frédéric V du Palatinat dans Jacobus STRADA et Octavius STRADA, *Desseins artificieux*, *op. cit.*

⁴⁰ Fausto VERANZIO, *Machinae Novae*, *op. cit.* Notons que Veranzio, dans les versions latine, italienne, espagnole et allemande de sa courte introduction, précise qu'il écrit d'abord pour lui-même : « ut nempè mihimetipsi ». Cette précision disparaît cependant de la version française.

⁴¹ Jacques BESSON, *Livre premier...*, *op. cit.*. Voir aussi la préface de Ambroise BACHOT, *Le Timon*, *op. cit.* : « Le désir que des mes jeunes ans j'ay tousjours eu aux mathematiques ».

⁴² Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.*

les auteurs mettent en place, nécessite aussi de définir les relations que l'ingénieur entretient avec d'autres activités.

Les ingénieurs et les autres

L'utilité des machines présentées intéressent plus d'un métier, et les artisans n'avaient pas attendu l'émergence des ingénieurs pour en fabriquer. Si cette classe sociale émergente de « praticiens de la conception » a acquis une légitimité auprès du pouvoir, il reste à délimiter les frontières de leurs activités, et à définir leurs relations avec les autres arts, et notamment l'autre discipline principale de la conception autonome à l'époque : l'architecture. Là encore, il n'y a pas que les inventeurs de métiers pour défendre leurs intérêts et définir leur place. Les préfaciers, humanistes et commentateurs donnent aussi leur vision de la place de la mécanique dans les savoirs et les arts de cette période.

Le rapport à l'architecture

L'architecture est le second art majeur de conception de la période, à cette différence qu'il s'exerce sur les bâtiments fixes et non les machines en mouvement. Mais cette distinction est récente et n'est pas encore définitive dans la seconde moitié du XVI^e siècle. Ainsi Sebastiano Serlio, un des plus grands théoriciens de l'architecture renaissance italienne, avait pour projet de rédiger un huitième livre sur les machines pour compléter son traité d'architecture, dans la lignée du dixième livre de l'*Architecture* de Vitruve. Pour des raisons financières, il vendit à Jacques Strada, alors antiquaire, ses dessins de machines, et ne publia pas ce huitième livre⁴³. Cependant, la tendance est à la distinction du projet architectural et des questions matérielles de construction, parmi lesquels les architectes placent la construction de machines. Du point de vue de la majorité des architectes, la mécanique une discipline complémentaire, mais non centrale, les machines étant hors du projet architectural à proprement parler⁴⁴.

⁴³ Dirck Jacob JANSEN, « Le rôle de Strada comme éditeur du Settimo Libro de Serlio », in *Sebastiano Serlio à Lyon. Architecture et imprimerie*, Lyon, Mémoire active, 2004, ..

⁴⁴ Daniel REGNIER-ROUX, « Le rôle de Jacques Androuet... », *op. cit.*

Cet abandon des questions matérielles et mécaniques de l'architecture au profit de l'activité conceptuelle dans les traités d'architecture renaissants laisse un vide que comblent les théâtres de machines. Il n'est donc pas surprenant que les architectes furent parmi les premiers amateurs de cette littérature qui exerça sur certains une influence non négligeable.

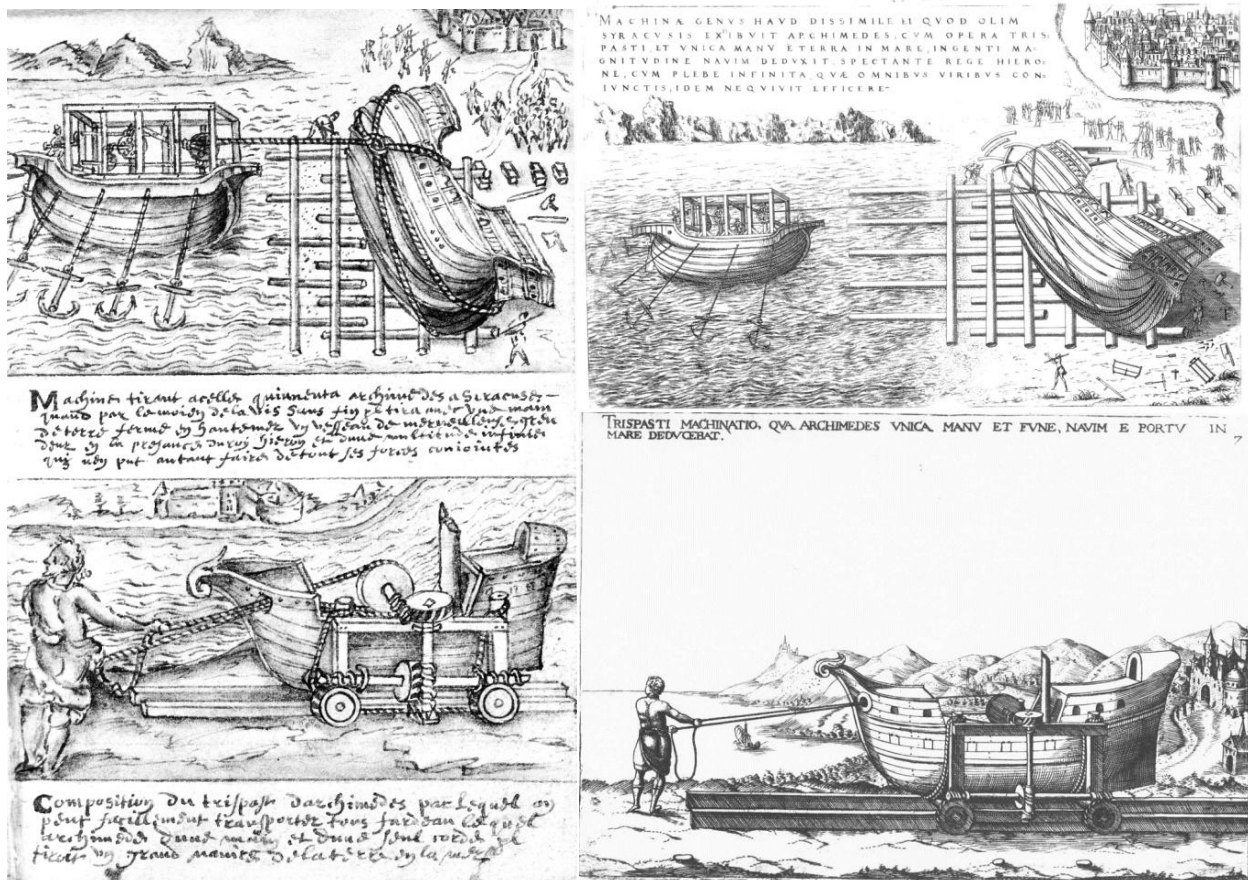


Figure 17 : Comparaison de Jacques Gentilhâtre, *Traité d'architecture* (début XVII^e siècle)⁴⁵, de la planche 54 de Jacques Besson, *Theatrum instrumentorum et machinarum* (Lyon [Genève], 1578), et la planche 7 de Jean Errard, *Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques* (Nancy, 1584)

Le cas de Jacques Gentilhâtre⁴⁶ est sans doute le plus emblématique. Élève de Jacques II Androuet du Cerceau – fils cadet de celui qui avait gravé les planches de Besson – il profitait de son apprentissage pour copier de nombreux dessins de son maître, parfaissant par là son talent pour le dessin et la copie. Entre 1615 et 1625, alors

⁴⁵ Jacques GENTILHATRE, *[Traité d'architecture] Manuscrit sans titre*, BnF, Cote ms.fr. 14727, 1615., f. 554.

⁴⁶ Voir la notice de Liliane Châtelet-Lange sur Jacques Gentilhâtre dans « Architectura », *op. cit.*

qu'il change de ville régulièrement, Jacques Gentilhâtre, alors d'une quarantaine d'année, entreprend un traité d'architecture, qui ne fut jamais publié, mais dont un état manuscrit est conservé à la bibliothèque nationale de France⁴⁷. Ce traité, organisé comme le *De Architectura* de Vitruve, est très illustré, bien que pour la plupart des dessins, il s'agisse de compilation de copies. La dernière partie du livre est consacrée, comme chez Vitruve, aux arts mécaniques. Elle est composée de très nombreux dessins, mais rares sont des inventions de Gentilhâtre, la plupart sont tirés du livre de Besson, de celui de Jean Errard de Bar-le-Duc, ou encore de celui de Salomon de Caus. Si toutes les machines ne sont pas représentées, et si le classement est différent, pour tenir compte de la masse documentaire (les grues de Besson sont placées avec les grues de Jean Errard etc.), rien n'est omis dans leur description : ni la mise en scène de la machine, ni les courtes légendes des inventions. Le plagiat est ici complet et effectué sans aucune retenue : l'objectif n'est pas d'inventer de nouvelles machines, mais de rendre disponible pour un public plus large, ici les architectes, un corpus de machines qu'il est jugé nécessaire de connaître.

La plupart des auteurs du corpus sont d'ailleurs acquis à l'idée d'une forte complémentarité entre les deux activités. Celle-ci est évidente, ne serait-ce que dans la profession des auteurs et leurs autres productions. Jean Errard, Ambroise Bachot et Agostino Ramelli ont tous écrit ou projeté d'écrire un livre sur les fortifications, Joseph Boillot, Vittorio Zonca, Heinrich Zeising, Salomon de Caus, Giovanni Branca et plus loin Andreas Böckler sont *aussi* – et pour certains *d'abord* – architectes. Concernant Jacques Besson, nous avons vu la relation privilégiée qu'il entretenait avec Jacques Androuet du Cerceau. Rappelons aussi que Jacob Strada a acquis les dessins de Serlio, grand architecte italien⁴⁸. Une forte complémentarité qui se traduit par la représentation de nombreuses grues et autres machines élévatoires dans des situations de chantiers de construction.

En revanche, à la séparation qu'introduisent les architectes entre les machines et les bâtiments, les auteurs des théâtres de machines répondent par une position bien moins

⁴⁷ Jacques GENTILHATRE, *[Traité d'architecture] Manuscrit sans titre*, op. cit.

⁴⁸ Dirck Jacob JANSEN, « Le rôle de Strada comme éditeur du Settimo Libro de Serlio », op. cit.

nette. Ainsi, le titre du livre de Vittorio Zonca, *Novo Teatro di machine et edificii* laisse penser que l'auteur voit les machines comme des bâtiments. Une vision que renforce la définition de la machine par Salomon de Caus (« ferme conjonction de charpenterie ou autre materiel »), qui pourrait s'appliquer à un édifice.

Cette gémellité des activités est encore accentuée par la référence commune à Vitruve. Se définissant comme architecte, l'auteur romain plaçait les machines « civiles » dans le domaine de l'architecture. Une position partagée par certains auteurs, notamment les auteurs allemands. Ainsi Octave Strada précise, dans sa préface au lecteur, que c'est l'architecture « qui produit une infinité de toutes sortes des machines, desquelles la vie humaine ne s'en peut passer ». De même Heinrich Zeising utilise comme ouvrage de référence de statique, une traduction de *L'Architecture* de Vitruve par Jérôme Rivius⁴⁹. À l'inverse, Ramelli commence son histoire de la mécanique par la référence à un Adam « fabriquant maisonnettes couvertes de pailles », un Adam constructeur.

Sans toujours aller jusqu'au de confondre les deux activités. Salomon de Caus, à la fois ingénieur et architecte, constate ainsi la proximité des activités, mais ne les confond pas. Il différencie ainsi la machine par le mouvement produit (par opposition au bâtiment fixe). Cela l'amène, à la fin de son « Epistre au lecteur » de bien distinguer ce qui relève des « Mathématiques, peinture, & Architecture » et ce qui relève « des Machines mouvantes & Hidrauliques ». Une ligne de partage qui se traduit dans l'organisation de son ouvrage, avec une première partie sur la description de plusieurs machines, et une seconde partie sur le dessin de grottes et fontaines.

Si les textes liminaires des autres théâtres de machines ne sont pas toujours aussi clairs, le contenu des autres livres ne laisse le plus souvent aucun doute sur la sphère dans laquelle ils s'inscrivent. Les moulins, machines artisanales, voire parfois les instruments mathématiques, « ayant force de mouvement »⁵⁰, sont l'apanage des livres de machines et des réductions en art spécialisées, quand les bâtiments sont celui des livres d'architecture.

⁴⁹ Gualtherus H. RIVIVS (dir.), *Vitruvii von der Architectur*, op. cit..

⁵⁰ Epistre au lecteur de Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes*, op. cit.

Notons cependant quelques domaines très particuliers, où nous pourrions entrapercevoir une concurrence directe dans cette répartition des activités. Les fontaines d'abord font l'objet de représentations esthétiquement très marquées, qui pourraient sembler faire concurrence à certains ouvrages d'architecture. Mais c'est dans le domaine des ponts que le brouillage de la frontière est le plus évident. Les ingénieurs militaires décrivent tous un ou plusieurs ponts mobiles, notamment Ramelli, qui est très prolixe sur ce point. Il ne s'agit pas de ponts en voûte classique, et ils sont peu décorés, éphémères, et en mouvement : des caractéristiques qui permettent de garantir leur appartenance à la catégorie des machines.

Mais de cette sorte de pont, les choses peuvent glisser vers des ponts *a priori* plus durables, comme chez Ambroise Bachot, qui présente une alternative aux ponts-levis. Il s'agit de ponts tenus par des vérins à vis écartant les extrémités d'un pont sur ses points d'appui (culées de terre ou de pierre). Un glissement qui s'accroît avec la publication, dans les *Machinae Novae* de Fausto Veranzio, de ponts civils, avec des méthodes de construction nouvelles, usant de matériaux alors non conventionnels (cordes, métal). Nous pourrions penser que ce choix est celui d'un auteur particulier, qui n'hésite pas par ailleurs à proposer les plans d'une « idée de temple » ou des projets d'aménagement urbain.

Cependant, cette concurrence entre auteurs de livres de machines et architecture, bien que limitée, peut trouver deux explications plus profondes et complémentaires. Premièrement, les frontières entre les métiers ne sont toujours pas clairement définies à la fin de la Renaissance. Deuxièmement, les ingénieurs cherchent, dans ces ouvrages, à définir les limites de leur activité. Profitant de cette brèche, ils ont tout intérêt à en repousser les frontières, au nom de leur inventivité et de leur capacité à améliorer ces éléments d'architecture. Les théâtres de machines du XVIII^e siècle témoignent largement de cette captation progressive des ingénieurs de projets auparavant réservés aux architectes. Ainsi des ponts bien entendu, qui font l'objet d'un tome particulier dans les *Theatri machinarum* de Jacob Leupold⁵¹ ; ainsi aussi des écluses, des digues ou des

⁵¹ Voir *infra* « Partie III : Technologie et théâtres de machines : l'œuvre de Jacob Leupold (1724-1727) », p. 313.

escaliers, sujets principaux du *Theatrum machinarum univernale* publié à Amsterdam par Pierre Schenck.

Cette démarche entre alors en résonnance avec une volonté de se placer à la fois à côté et au-dessus des arts ; une affirmation de la supériorité de l'invention de machines qui est cependant beaucoup plus nette avec les activités productrices qu'avec l'architecture.

Le meilleur des arts

Fille des mathématiques, sœur de l'architecture, pour tous les auteurs, la mécanique se définit surtout par une place supérieure dans la hiérarchie des arts. Pietro Bertelli l'exprime de façon particulièrement explicite :

« L'art de fabriquer les machines est l'art suprême, dans lequel, plus que dans tout autre, se voit l'acuité de l'ingéniosité humaine [...] elle est un des plus beaux arts et le plus digne de l'homme qu'on puisse imaginer »⁵²

Du fait de l'ingéniosité dont il témoigne, l'art mécanique est donc le premier des arts. Il est aussi utile à tous les autres arts par la mise à disposition de « plusieurs instruments & machines »⁵³. Les auteurs n'étant pas des praticiens dans tous les domaines qu'ils traitent dans leur livre, il y a la volonté de montrer que la mécanique transcende les domaines. C'est pourquoi les auteurs plaident pour une diffusion la plus large possible de leurs « machines et inventions nouvelles » vers « les geometres, les marmiers, les marchans, les artisans, les gentilzhommes »⁵⁴ pour reprendre l'expression de Jacques Besson dans son manuscrit.

Pour autant, ce désir de servir aux arts « manuels »⁵⁵ semble un vœu pieux pour la plupart des livres d'inventions, richement décorés et sans doute bien trop chers pour la plupart des bourgeois, maîtres artisans bien installés, voire petits seigneurs, susceptibles d'utiliser ces inventions. En revanche, les théâtres de machines publiés dans un second temps par les non-ingénieurs, font attention à pouvoir atteindre un public assez large.

⁵² Dédicace à Rainuccio Gambarra dans Vittorio ZONCA, *Novo teatro di machine*, op. cit.. Texte original : "s'io dirò, che l'arte del fabricar Machine sia nel supremo, in cui più ch'in ogn'altro si scorga l'acutezza dell'ingegno humano [...] ch'ella sia una delle più bell'arti, & delle più degne dell'huomo, ch'imaginar si possano."

⁵³ « Aux benins lecteurs » dans Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, op. cit.

⁵⁴ Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », op. cit.

⁵⁵ Expression utilisée par Ramelli dans son texte « aux benins lecteurs ».

Ainsi de Strada qui justifie la publication des dessins de son grand-père en plusieurs tomes pour éviter que les amateurs aient « quelque difficulté à l'acheter » si tous les dessins étaient placés en un seul volume. Cette attention au prix des ouvrages est encore plus sensible dans la série proposée par Heinrich Zeising, qui justifie de reprendre les théâtres de machines par le fait que :

« Les *auteurs*, qui ont écrit sur ces choses, ne l'ont pas fait en allemand, et les ont publiés le plus souvent dans de grands formats, très cher à l'achat : Mais ce *théâtre* est de forme plus pratique et est proposé à moindre coût. »⁵⁶

Outre le prix modique permettant une plus large diffusion, Zeising insiste sur la forme « pratique » de ses tomes. Il s'engage dans une démarche visant à sortir les théâtres de machines des bibliothèques, du strict milieu du livre, des sciences et des arts libéraux. Il s'agit de faire de l'ouvrage, en effet plus petit et transportable, un outil de l'architecte, lui permettant d'amener l'ouvrage dans ses pérégrinations, voire simplement de l'avoir avec lui sur le lieu du chantier. Dans cette logique, le lecteur n'est plus simple lecteur, il est utilisateur direct du savoir contenu dans l'ouvrage. Alors que la publication assez luxueuse des premiers livres d'inventions signalait une volonté de reconnaissance, ces livres plus modestes ont l'ambition d'aider à la pratique. L'utilité des ouvrages est ici prise au mot, et les théâtres de machines changent de statut.

Pour autant, l'utilité des ouvrages ne se résume pas à leur vertu de catalogue de machines. Jérôme Megiser, préfaçant le quatrième tome des *Theatri* de Zeising, reprend l'histoire et la classification de la mécanique dans une tradition initiée par Ramelli et poursuivie par Salomon de Caus. Pour tous ces auteurs, l'idée principale demeure la même : la mécanique, une des « filles » des Mathématiques, est une sorte de science surplombante de tous les autres « arts manuels ». Ramelli l'explique dans son texte « Aux benins lecteurs » :

« De ces rares sciences [les Mathématiques] donc proviennent ces Mécaniques ; desquelles se peuvent tirer les causes & principes de plusieurs arts, que j'appelleray Manuels : les Anciens, Basauniques, ou Sellulaires : le vulgaire les appelle Mécaniques, mais improprement. »

⁵⁶ ZTM1, préface. Texte original : „die *Autores*, so von diesen Dingen geschrieben in Deutscher Sprach nicht mal zu bekommen auch mehrertheils in grossem Format gedruckt und sehr theuer am Gelde sein : Dieses *Theatrum* aber in bequemer forme und mit leichten Kosten zu erzeugen ist.“

La mécanique n'est plus seulement une « aide » pour les autres arts, une science utile en ce qu'elle permet d'apporter des solutions mécaniques à d'importants problèmes matériels. Elle est ici décrite comme une mathématique pratique, à la fois science et façon de penser, une logique permettant de rendre compte des « causes & principes » des arts plus traditionnels. Première conséquence : les ingénieurs ont un rôle pédagogique à tenir envers ceux qui ne sont pas formés à cette science et font de nombreuses erreurs dans la conception de leurs machines. Ainsi Jean Errard présente, sur sa 27^e planche, une roue à contrepoids interne « non tant pour servir à ce où elle est accomodé que pour monstrier l'erreur de ceulx qui pensent par ce contrepois avoir trouvé le mouvement continuel »⁵⁷. L'idée est de montrer l'erreur pour éviter sa reproduction.

Si cet aspect pédagogique est amené à se développer, comme nous avons pu le voir dans le premier chapitre, la plupart des auteurs se contentent principalement d'arguer de la légitimité mathématique pour taire toute possible remise en cause des inventions proposées. Veranzio dit ainsi à propos de son projet de fontaine à Venise : « que l'on ne peut rien opposer par raison à ceste miene Invention », quand d'autres avaient échoué. Il se protège ainsi d'avance d'exécutants, qui pourraient « se tromp[er] en leur imagination ». Il cherche aussi à se démarquer de ceux qui ont proposé des projets similaires infructueux. Giovanni Branca résume cette position dans sa préface en quelques mots. Si une machine ne fonctionne pas :

« Le défaut ne provient pas des Mécaniques, ni de leurs principes, mais uniquement de leur agent, peut-être peu érudit, ou qui n'aura pas compris, ni parlé ni échangé avec les gens du métier »

Cette phrase ne critique pas tant les artisans qui ne connaissent pas les bases de la science mécanique, que ceux qui, censés diriger les travaux, n'ont pas su faire œuvre de pédagogie, voire ne connaissent pas eux-mêmes les bons principes. Ces arguments ne sont donc pas les précurseurs de la critique de la routine des artisans au XVIII^e siècle. Au contraire, les ingénieurs respectent les artisans et leurs savoir-faire, c'est notamment le cas de Vittorio Zonca⁵⁸, mais critiquent fortement ceux qui font profession de cette activité de conception tout en ne connaissant pas les règles fondamentales de la mécanique. La

⁵⁷ Légende de la figure 27 dans Jean ERRARD, *Le premier livre des instruments*, op. cit.

⁵⁸ Introduction dans Vittorio ZONCA et Carlo PONI, *Novo teatro di machine et edificij 1607*, Milan, Edizioni il Polifilo, 1985.

préface du manuscrit de Jacques Besson contient contre ces « entrepreneurs [...] ignorans »⁵⁹ la plus virulente des attaques. Selon lui, leurs erreurs induisent « beaucoup de gens qui sont indoctes [...] à mespriser les arts mechaniques ».

Se défendre contre les « envieux »

Nous l'avons vu, cette attaque de Besson envers ces inventeurs amateurs n'ayant pas de légitimité scientifique n'est pas restée sans représailles de la part de ceux qu'il appelle des « envieux »⁶⁰. Besson n'est cependant pas le seul auteur de livre de machines à faire part de tels envieux, plusieurs en font mention, et la défense contre ces « Zoïles »⁶¹ comme les désigne Henning Grosse à la fin dans sa préface au quatrième tome est un leitmotiv des discours liminaires des théâtres de machines. À côté de ces « envieux », les savants empreints de culture scholastique critiquent aussi les auteurs de livres de machines. Selon Besson, ils jugent les machines « manqué[e]s et du tout incertaines, pour ce (disent-ilz) qu'elles combattent contre la commune nature des choses legeres et pesantes »⁶².

Pour faire face à ces critiques d'origines multiples, les auteurs répondent par deux stratégies complémentaires. La première consiste à instaurer une sorte de droit d'entrée, comme Besson l'explique dès la préface de son manuscrit :

« Que donc ceux qui n'entendent telles loix et observations naturelles accompagnees d'arithmetique et geometrie en tel art se deportent pour leur honneur d'en faire profession entiere et les autres qui auront aquis quelque autre scavoir desistent de juger et mespriser le labeur d'autrui en cest endroit, au moins s'il leur plaist, jusques a ce que le temps, les effectz et le jugement de plus experts qu'eux en ayent rendu bonne approbation »⁶³

Il s'agit de créer une classe particulière, définie par un certain niveau d'éducation à la fois aux mathématiques et aux problèmes matériels. Pour les auteurs, seuls ceux qui

⁵⁹ Par « entrepreneur », il faut ici comprendre celui qui signe un contrat d'entreprise, c'est-à-dire la commande d'une production d'un objet ou d'un bâtiment. Sur ce point voir Serge BENOIT, « Les évolutions... », *op. cit.*. Voir aussi, pour l'évolution du mot tout au long de la période moderne : Hélène VERIN, *Entrepreneurs, entreprise, op. cit.* L'ouvrage a été réédité aux Classiques Garnier en 2012.

⁶⁰ Voir *infra* « Le « moment Jacques Besson » : du traité savant au livre d'inventions, 1569-1578 », p. 33.

⁶¹ D'après le Trésor de la langue française informatisée, « Zoïle » désigne un « critique injuste, malveillant et envieux ». Il vient de Zoïlos, grammairien d'Alexandrie détracteur d'Homère. Ovide est le premier à l'utiliser comme synonyme de détracteur.

⁶² Besson MS, préface.

⁶³ « Préface » dans Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.*

répondent à de telles conditions peuvent réaliser une critique constructive des inventions. C'est le sens du paragraphe que Jean Errard adresse « Au lecteur » dans son propre *Livre Premier*. Il explique qu'il admettra ses erreurs si on les lui prouve par « raisons & démonstrations géométriques », n'autorisant à juger son œuvre que « les bons & non [...] les indiscrets [des inventeurs qui copient] & desdisants [des savants qui critiquent : de dédire, désavouer] ». En bref, il s'agit d'instaurer un jugement par les pairs. Ces derniers ne se définissant non d'après leur activité, mais d'après leurs connaissances dans les principes de la conception mécanique. C'est, de façon implicite, ne reconnaître un droit de regard sur leurs œuvres qu'à ceux qui partagent la même conception de la mécanique, à la fois comme science de la pratique, et art supérieur⁶⁴. En ce sens, non seulement les théâtres de machines définissent la place de la mécanique dans les connaissances et dans la société, mais ils se présentent aussi comme un outil de communication interne, permettant d'assurer la construction à la fois identitaire et sociale des ingénieurs.

La seconde stratégie est une stratégie d'évitement du conflit. Elle consiste à ne pas expliquer les inventions, voire à les cacher. Veranzio explique ainsi l'absence d'explications quant au fonctionnement de son projet de fontaines vénitiennes : « Mais pour autant qu'elle est au prejudice de plusieurs ainsi qu'on m'a donne à entendre, je retiendray en moy la chose par moy Inventee ». L'argument avancé ici est celui de se défendre d'une perception négative de l'innovation⁶⁵ : ce qui est nouveau peut porter préjudice à des intérêts établis, et à l'ordre de la société. En un mot, la nouveauté est facteur de désordre. Afin d'éviter la critique, ou tout simplement parce qu'une telle invention est appelée à « demeurer en l'estat », Veranzio préfère le silence⁶⁶.

Insistons sur un point : c'est sur conseil et non de son propre gré que se tait l'auteur. Or la même raison conduit Octave Strada, pourtant ardent critique du secret, à n'ajouter aucune explication aux dessins de son grand-père, suivant là « le conseil de quelques

⁶⁴ Aujourd'hui encore, le terme même d'« ingénieur » recouvrant des réalités très diverses et des compétences très différentes, rappelle cette unité fondamentale dans la perception de la technique d'un point de vue médian entre théorie et pratique.

⁶⁵ Hélène Vérin a bien montré que cette idée s'ancre dans l'ambivalence de l'*ingegnum*, à la fois aptitude extraordinaire et dangereuse, dans Hélène VERIN, *La gloire des ingénieurs*, op. cit.

⁶⁶ Fausto VERANZIO, *Machinae Novae*, op. cit.. Notons que cette problématique de la diffusion de l'innovation est une problématique centrale dans le livre de Veranzio. Celui-ci réalise par exemple deux planches sur l'avantage de la faux sur la faucille dans la moisson des céréales. La faux n'était alors utilisée que pour couper l'herbe.

personnages entendus & expérimentés »⁶⁷. Ainsi encore, Jacques Androuet du Cerceau avait conseillé à Jacques Besson de limiter le détail de ses explications⁶⁸.

Deux explications peuvent être avancées pour justifier cet usage du secret, moins généralisé cependant que l'idée d'un jugement par les pairs. Il y a d'abord le fait qu'écrire sur les machines, c'est les faire passer dans l'art de la parole, c'est transgresser une organisation des connaissances. Un des enjeux de l'usage massif des images et d'un langage particulier est justement de limiter au maximum cette transgression pour la rendre acceptable, comme nous le verrons dans les chapitres suivants. La seconde explication est beaucoup plus prosaïque. Publier son invention avec toutes les explications nécessaires à son fonctionnement, c'est prendre le risque du plagiat par les « envieux » et les « indiscrets ».

Pour autant, l'usage du secret demeure limité, et pour cause, l'idée de découvrir, de dévoiler, de rendre clair ce qui était obscur, fait partie des missions de l'ingénieur. La première solution, d'instaurer une sorte de droit de regard limité à une communauté d'experts est de loin préférée par tous les auteurs. Reste alors à définir les modalités d'entrer dans cette communauté, et donc les codes qu'elle se donne.

⁶⁷ La même année, l'édition allemande du livre de Strada, *Künstliche Abriss*, contient des explications assez détaillées. Le monde germanique est sans doute plus réceptif à une parole raisonnée sur les arts.

⁶⁸ Daniel REGNIER-ROUX, « Des livres et un recueil de dessins d'architecture dans la bibliothèque de Camille de Neufville de Villeroy », *op. cit.* et *infra* « *Le Livre premier des instruments*, un livre d'inventions courtisan », p. 37.

Chapitre 6 : Mettre en place des codes communs

La mécanique tranche avec l'organisation des savoirs habituellement établie depuis le Moyen Âge. Les sciences, arts de la parole, étaient des arts libéraux, réservés aux nobles, clercs et à de plus en plus de bourgeois. La fabrication des objets, arts manuels, sont dits « mécaniques » et réservés aux métiers, qui sont respectés comme tels. L'idée d'une activité autonome de conception des objets (et des bâtiments) dessine un entre-deux, dont nous avons vu combien elle a nécessité, pour être légitimée, la mise en place de récits mythiques et la mise en avant des valeurs utilitaires dont elle est porteuse. Légitimé, le métier d'ingénieur n'en recouvre pas moins des réalités très disparates. Certains font carrière militaire, d'autre plutôt civile. Les uns portent une attention particulière aux ponts mobiles, d'autres aux automates. Certains vivent de commande en commande, quand d'autres s'attachent particulièrement à un prince, au service duquel ils demeurent une vie durant. Là-dessus, éditeurs et commentateurs, visant un objectif plus pédagogique, développent et rééditent les œuvres de plusieurs ingénieurs.

Bien que cette diversité n'ait pas empêché de mettre en place une argumentation relativement unifiée pour défendre l'intérêt d'une activité dans la société, il restait à trouver les fondements d'un *habitus* commun. Il s'agit non plus de défendre le rôle social de l'ingénieur à l'extérieur, de projeter une image conforme aux attentes de la société, mais de définir les règles internes à la communauté, de construire une identité commune, de voir comment se perçoivent les ingénieurs entre eux. Les théâtres de machines sont au centre, à la fois témoins et acteurs, de cette définition, centrée principalement sur le sens de l'invention : l'ingénieur se pense d'abord inventeur. Il nous faut donc revenir à la fois sur le sens de l'invention à la Renaissance et sa traduction concrète pour les ingénieurs du temps. Il faut aussi étudier les conditions mises en place pour arbitrer les conflits que ne manquèrent pas de provoquer une certaine compétition dans l'invention.

Inventer à la Renaissance

La critique du secret

Nous devons à Hélène Verin et Louisa Dolza d'avoir su rétablir le sens de l'invention et le rôle de l'inventeur à la Renaissance¹. Citons avec elles l'humaniste Jean-Louis Vivès qui disait que certains étaient nommés ingénieurs « non pour avoir eux-mêmes créé une chose qui n'existait pas, mais pour l'avoir découverte alors qu'elle était cachée »². L'invention est donc pensée comme la mise au jour d'une chose cachée, d'un secret. Le secret, notion fondamentale dans la transmission des savoirs et la constitution des identités de métiers³, est universellement critiqué dans les différentes préfaces et dédicaces des théâtres de machines. Les ingénieurs se donnent pour mission de lever ce secret, et construisent leur identité selon un processus inverse à celui des métiers. Venant d'un milieu de maîtres-artisans, ils sont soucieux de s'élever au dessus des arts mécaniques, en mettant en avant un savoir-faire plus important, notamment dans la conception et la direction de travaux. Or ces interventions sont hors du champ du métier proprement dit : il ne s'agit pas du secret de préparation d'un mortier pour un maçon, de la poudre pour un artificier, ou du métal pour un orfèvre ; il ne s'agit pas non plus de méthodes spécifiques comme l'équarrissage pour un charpentier, ou le dessin et le calcul des voûtes pour un maçon. Il s'agit de combinaisons de mécanismes, d'instruments et de machines, de fontaines et de ponts, de bâtiments et de jardins ; il s'agit de formes qui sont d'abord et surtout dessinées.

Pour autant, jusqu'au XV^e siècle, les dessins demeurent privés, à usage personnel, et le secret demeure, y compris pour ces inventions sur le papier, dont la plupart ne voient jamais le jour. Le carnet de Villard de Honnecourt en est un bon exemple. Recueil personnel et privé de croquis et de schémas de statues, de bâtiments et de machines, il ne fût rendu public qu'à la fin du XV^e siècle, par un membre de la famille Félibien⁴, converti

¹ Hélène VERIN, *La gloire des ingénieurs*, op. cit. ; Luisa DOLZA et Hélène VERIN, « Figurer la mécanique », op. cit.

² Juan Luis VIVES et Llorenç RIBER, *Obras completas*, Madrid, M. Aguilar, 1947. cité dans Luisa DOLZA et Hélène VERIN, « Figurer la mécanique », op. cit., p. 16.

³ Anne-Françoise GARÇON, *L'imaginaire et la pensée technique*, op. cit. Chapitre 8 : « Les dessous des métiers », pp. 119-128

⁴ Association VILLARD DE HONNECOURT, *Le carnet de Villard de Honnecourt*, <http://villarddehonnecourt.free.fr/carnet.htm>, consulté le 22 janvier 2013. La première page et la troisième page, écrite

aux idéaux d'utilité qui se mettent alors en place. De nombreux autres exemples nous sont donnés par certains des grands architectes-ingénieurs du début du XV^e siècle, qui perpétuent le secret sur leurs inventions, comme Brunelleschi, qui ne laissa aucun dessin concernant les machines utilisées pour la construction du dôme de Florence, et qui recommanda à Taccola de ne pas publier ses dessins⁵. Rappelons qu'au début du XVI^e siècle encore, Léonard de Vinci écrivait volontairement en miroir pour éviter d'être lu facilement.

L'apparition de l'imprimé d'une part, et la proximité des ingénieurs avec les princes et commanditaires obligent les auteurs à lever ce secret. Ainsi de Giovanni Battista Isacchi, dont l'œuvre se rapproche à bien des égards des modèles manuscrits italiens du XV^e siècle. Il explique ainsi que sa publication consiste en un « répertoire de secrets », composé dans « les années protégés du sort ». Il se dit aussi prêt à publier les inventions d'autres auteurs « pour leur honneur et l'utilité publique »⁶. Ce positionnement témoigne d'un changement important des mentalités dans le rapport au secret. Dans les métiers, celui-ci servait moins à protéger contre le vol de savoir-faire qu'à objectiver une hiérarchie. C'est en partie parce que le maître en sait plus que son apprenti, fusse symboliquement, qu'il est maître⁷. Or, comme en témoigne la dédicace d'Isacchi ou celle d'Octave Strada à Frédéric V, les lettrés et les inventeurs de la fin de la Renaissance retournent cet argument et montrent combien garder caché un secret est condamnable, par les hommes comme par Dieu⁸ :

« Quant aux autres, qui cachent leurs dons, & les tiennent secrets, avec intention de ne les communiquer à personne, pour en être tant plus (comme ils se persuadent) estimés, en ont non seulement peu de louange & gré entre les hommes détestant leur envie & déloyautés; mais en seront aussi quelque jour

par des plumes du XV^e siècle éclaire l'histoire de ce manuscrit acquis par la famille Félibien. Voir aussi : Signets BnF, *Les cathédrales et Villard de Honnecourt : architecture médiévale et gothique.*, <http://classes.bnf.fr/villard/index.htm>, consulté le 22 janvier 2013 ; Charles SAMARAN, « Le carnet de croquis et de voyage d'un architecte français du XIII^e siècle (Villard de Honnecourt) », *Journal des savants*, 1973, vol. 4, n° 1, pp. 241-256.

⁵ Paolo GALLUZZI, *Les Ingénieurs de la Renaissance*, *op. cit.*

⁶ Giovanni Battista ISACCHI, *Inventioni*, *op. cit.*, "L'autori alli lettori". Texte original : "Mi son compiacciuto nelli anni parrati dar fuori un moi Repertorio di Secreti [...] ad honor suo & utile publico".

⁷ Anne-Françoise GARÇON, *L'imaginaire et la pensée technique*, *op. cit.*, Chapitre 8 : « Les dessous des métiers », *op. cit.*

⁸ Sans doute le milieu protestant était-il plus réceptif à cet argument d'une condamnation divine du secret. Il rentre en effet en résonnance avec cet « éthique du protestantisme » de toujours faire fructifier les biens. Notons cependant que cet argument n'exclut pas les catholiques, qui ont aussi largement participé à ce mouvement de mise en public des savoirs.

repris par ce Grand Dieu & Pere de famille, & comme dispensateurs infidèles, condamnés. »⁹

La condamnation est sans appel, et s'accompagne d'un impératif moral, un véritable devoir de l'ingénieur de rendre compte des savoirs mécaniques. D'argument de légitimation, l'utilité est devenue un impératif, et celui qui connaît les secrets doit en effet les mettre au service de sa patrie. Mais cette patrie, pour « l'homme fort et prudent » est partout, et sa patrie d'origine est le monde. Ainsi, « celui, qui était orné de quelque don & science utile était redevable, d'en servir, non seulement quelque lieu particulier, mais s'il était possible, à tout le monde ». Le devoir est universel¹⁰, et plus que les résultats, c'est la « fidélité tendante à ce but de servir à tous » qui justifie seule la postérité dont ces hommes jouissent. Nous reconnaissons là une influence de la pensée protestante, qui met en avant le devoir de faire fructifier les dons donnés par Dieu, et ne fait pas reposer sur « l'œuvre faite » la glorification des ingénieurs, mais sur le comportement et la recherche. Cet idéal philanthrope d'être utile au monde, si bien exprimé par Octave Strada, est cependant partagé par tous les auteurs des livres d'inventions et de théâtres de machines, catholiques compris¹¹.

Pour Octave Strada, la publication d'un livre de machines s'inscrit très clairement dans cette mission, comme le laisse entendre l'organisation du frontispice des *Desseins artificieux*¹². Au dessus du titre, le graveur place un médaillon représentant un paysage champêtre avec un moulin à vent et une fontaine. Sous le titre, dans un encadré baroque, le graveur place deux meules à grains avec la représentation des engrenages d'angle (rouet/lanterne) et des moteurs (une roue à eau et une cage d'écureuil). Il y a là une mise en scène évidente d'un secret révélé au public : ce qu'il ne voit pas dans le paysage au dessus du titre, le lecteur le voit dans l'encadré sous le titre, donc dans le dernier espace qu'il voit avant d'entrer dans le livre (voir Figure 14 : p. 175).

⁹ Jacobus STRADA et Octavius de STRADA, *La premiere [et seconde] partie des Desseins artificieux*, 1617, dédicace à Frédéric V du Palatinat.

¹⁰ Cette idée d'un devoir universel est une traduction du platonisme qui irrigue la pensée des ingénieurs de la Renaissance. La préface du Ramelli en témoigne qui y fait référence précisément pour cet universalisme.

¹¹ Si Besson, Strada ou de Caus étaient protestants, Ramelli, Zonca ou Branca étaient catholiques, et ont participé de ce mouvement.

¹² Tous les frontispices de théâtres de machines sont reproduits en Annexe 3 : « Extraits de théâtres de machines », p. IV.

Dans le même ordre d'idées, le frontispice des *Raisons des forces mouvantes* de Salomon de Caus joue sur la dialectique intérieur/extérieur. Au contraire des frontispices classiques, le lecteur ne voit pas l'entrée d'un temple de l'extérieur, mais de l'intérieur, avec Archimède et Héron d'Alexandrie au travail. Un panneau entrouvert, sur lequel est gravé le titre, permet au lecteur d'apercevoir, à l'extérieur, un port fortifié avec une grue, des bateaux et un camp militaire (voir Figure 14 : p. 175). L'idée de dévoiler le secret d'un monde empli de machines est tout aussi prégnante dans le frontispice du *Theatrum machinarum novum* de Böckler. Il représente un théâtre, dont les rideaux, tenus ouverts par Archimède et un « Mechanicus », s'ouvrent sur un monde artificiel de moulins à vent, d'aqueducs, et de moulins à eaux dont les façades découvertes permettent de voir les mécanismes des meules (Annexe 3 : p. XXXIV).

L'ingénieur n'est donc plus maître des travaux parce qu'il cache un secret que personne d'autre ne connaît, mais parce qu'il montre et valorise ce que d'autres ne veulent pas montrer, au nom de l'utilité. Cependant, il doit faire la preuve que le secret qu'il met à disposition du public est difficile à trouver seul et mérite la considération de ses pairs, et le poste qu'il convoite. Il doit trouver une autre façon d'asseoir son autorité, à la fois interne et externe, à la fois auprès des ingénieurs et auprès du public. C'est dans les sciences, notamment les sciences mathématiques que se puise cette légitimité.

Les mathématiques mixtes : au cœur de la mécanique

Que ce soit pour son bénéfice, celui du public, ou pour éviter une condamnation divine, l'inventeur se doit donc de mettre au jour des secrets. Cela dit, ces secrets ne sont pas issus des métiers, et demeure la question de savoir ce qui fait secret, d'où ou de quoi ils sont exhumés. Ramelli répond à cette question de façon particulièrement claire :

« [Certains] Philosophes s'efforcent de cacher aux hommes idiots les susdites sciences, leur semblant que de les publier à un chacun, c'estoit jeter les plus belles perles Orientales, de sorte qu'ils obscurcissent les choses très-hautes, veuës par eux premierement sous hieroglyphes, mysteres, fables, symboles, & enigme, quasi plus que n'obscurcist jamais la nature mesme »¹³

¹³ Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, a Parigi, chez l'auteur, 1588, « Aux bénins lecteurs ». Sauf précision contraire, les citations suivantes sont tirées de la dédicace ou de la préface du même ouvrage.

Les « susdites sciences » sont les mathématiques d'où proviennent les principes mécaniques et sur lesquelles porte toute la préface. Les philosophes critiquées ici ne sont pas les « Païens » de l'Antiquité, dont nous verrons qu'ils sont portés en grande estime, mais bien les savants scholastiques médiévaux. La référence ironique au verset de l'Évangile de Saint-Matthieu sur les perles à ne pas jeter¹⁴, que les scholastiques utilisaient pour défendre la non-généralisation du savoir, témoigne de cette distanciation d'une science jugée inutilement obscure. L'ingénieur, au contraire, se doit de clarifier la mécanique, une des six parties du genre de mathématiques « qui s'exerce aux choses sensibles ». Il se doit de permettre au public de redécouvrir, de se « ressouvenir » des connaissances mathématiques enfouies en lui-même.

C'est donc un travail d'éclaircissement et d'exploration des mathématiques, que doit mener l'inventeur pour en retirer les secrets cachés. Le libraire Jacques Chouët, défendant Jacques Besson auprès du duc de Lesdiguières, ne dit pas autre chose :

« Les beaux effects des sciences nobles, notamment de la Geométrie, quand il lui a pleu de mettre la main à l'œuvre, & découvrir en quelques machines les secrets innombrables qu'elle contient en soi, sont comme les appuis de la vie politique et guerrière »¹⁵

« Tout par compas » conclut d'ailleurs le libraire dans les poèmes qui suivent sa dédicace. Cette importance des mathématiques est encore traduite visuellement dans le frontispice, utilisé depuis 1578, en exergue du même *Théâtre* de Jacques Besson. D'une grande construction symbolique, il consacre les mathématiques comme matrice de l'invention, et de la compréhension du monde.

Le frontispice (Annexe 3 : p.X) obéit à une grammaire commune à de nombreux ouvrages : sur un large piédestal en grotesque, trônent deux personnages barbus, en toge et couronnés de lauriers, qui encadrent le titre et soutiennent un fronton. Aux pieds du personnage de droite, une table, qui représente la division d'un angle en plusieurs angles égaux, laisse penser qu'il s'agit d'Euclide. Le personnage de gauche est moins aisé à identifier. Il porte une équerre et le modèle d'un bateau est posé à ses pieds. Le

¹⁴ Le texte contient une référence biblique cachée : « Ne jetez pas vos perles aux pourceaux, de peur qu'ils ne les piétinent » dit Jésus dans son discours sur la montagne (d'après Matthieu, chapitre 7, verset 6). Argument classique de la scholastique médiévale pour légitimer la non-communication du savoir.

¹⁵ Dédicace à Lesdiguières dans Jacques BESSON, *Theatre des instrumens mathematiques et mechaniques*, Genève, Jacques Chouët, 1594.

bateau rappelle la planche 54, dans laquelle Besson présente Archimède tirant son bateau en mer. Pour autant, l'équerre est plus souvent attribuée à Vitruve qu'à Archimède, représenté le plus souvent avec une balance romaine. Ingénieur ou architecte, il s'agit en tous les cas d'un praticien. Habillés semblablement, ils sont placés sur un même degré d'honneur, mais l'attitude d'Euclide permet une lecture plus fine. Sa main gauche et son index sont levés comme un orateur pendant un discours, et la main droite est ouverte, paume tournée vers le lecteur, comme pour lui demander l'attention. La tête tournée vers le second personnage, il semble lui parler. Il y a comme la mise en scène d'un apprentissage : Euclide apprend à Archimède/Vitruve ce qu'il doit savoir. La géométrie, discipline encore maîtresse est le fondement d'un savoir pratique.

Au-dessus des personnages, devant un fronton baroque, trône une femme couronnée de lauriers, les bras ouverts. Elle tient dans sa main droite un compas, et dans la gauche un globe terrestre. Cette personnification des mathématiques, et plus précisément de la géométrie grecque, représente une vision d'un monde (le globe), obéissant aux règles de la proportion (le compas), d'un monde placé sous l'empire des mathématiques. Les objets disposés derrière la personnification des mathématiques permettent de mieux cerner ce monde : cylindre, poids, compas, cadran zodiacal, table de calcul, sablier représentent tour à tour la statique, l'astronomie, le calendrier, bref, des sciences mathématiques annexes et directement utiles aux hommes.

Ce que dit le frontispice du *Théâtre des instruments* de Besson, les autres frontispices, moins élaborés, le disent aussi par l'attachement aux instruments mathématiques comme le compas, accompagné parfois d'autres outils de tracé : règles, équerres. De même, plusieurs textes insistent explicitement sur la place des mathématiques. C'est le cas de Ramelli, qui consacre une préface entière à « l'excellence des mathématiques », « divine science » mère de tous les arts, nécessaire à la connaissance des rois et à l'administration du bien public. Quelques années après, dans *Le Gouvernail*, Ambroise Bachot explique encore son intention de conduire le lecteur des « guerrières mathématiques, en Geometrie & Perspective [...] à la cognoissance des fortifications, instrumens, & machines de Guerre ». Octave Strada surenchérit, en expliquant que « tous les métiers mechaniques y prennent leurs mesures & proportions sans lesquelles il n'y a forme, ne apparence ».

Les mathématiques sont donc un préalable à toute invention mécanique. Elles forment à la fois le lieu où il faut recueillir les secrets et, avec l'utilité, le second grand facteur de légitimation. Nous pouvons néanmoins nous étonner de l'absence d'arguments aussi flatteurs envers les autres sciences de la nature, pourtant a priori plus à même de rendre compte de ces « choses sensibles » que l'abstraction mathématique. Pour quelle raison les auteurs favorisent-ils tant cette seule discipline ?

Les mathématiques et les sciences de la nature : définir un lieu médian

Les mathématiques ont l'avantage de permettre la définition de vérités certaines : « si quelque chose est confirmée avec raison par les Mathématiques en la Géométrie, ou en l'Arithmétique, nous estimons cela autant assuré, comme s'il était dit par l'oracle Appolon » nous dit Ramelli. Par ailleurs, la dimension philosophique des mathématiques leur permet de s'extraire des arts strictement mécaniques, et de se démarquer.

Surtout, la plupart des auteurs se placent du côté de l'idée, ce qui se traduit, chez les plus lettrés d'entre eux, par une référence à Platon. Ramelli par exemple cite la maxime placée sur le fronton de l'école de Platon : « Qui n'est Geometre n'entre point »¹⁶. Sans être aussi explicite, le frontispice du Besson fait aussi référence à Platon en représentant les cinq polyèdres réguliers définis par le philosophe grec. Ces cinq polyèdres désignaient pour Platon les cinq éléments (terre, eau, air, feu, éther)¹⁷. Une référence comprise par le graveur du frontispice puisqu'il place le cube – la terre – dans le piédestal, soit dans la partie basse de la page. Ces cinq polyèdres sont repris sur le portrait de Ramelli ou dans le frontispice de la seconde partie des forces mouvantes de Salomon de Caus. Formes géométriques désignant des éléments physiques, ces polyèdres témoignent de cette mathématisation du monde avec une singulière économie de moyen.

Cet attachement à l'idéalisme platonicien se double d'une référence à la *forme*, entendue dans un sens aristotélicien, opposée à une *matière* à informer : sans les mathématiques, les métiers mécaniques n'ont ni mesure, ni proportion pour *informer* la

¹⁶ Octave Strada cite celle, quasi-similaire, de l'école de Pythagore, qui lui aussi avait une vision globale d'un monde mathématisé : « *Nemo Mathematices ignarus ingrediatur* : c'est-à-dire, que personne n'y osât entrer, qui n'eût quelque intelligence de la Mathématique ».

¹⁷ Cette classification est tirée du *Timée* de Platon.

matière, pour la définir, pour transformer la nature. C'est à la définition de cette *forme*, mesurée et proportionnée par les mathématiques que doivent s'atteler les ingénieurs. L'invention se conçoit comme la recherche d'une forme juste et appropriée au problème, notamment dans les savoirs géométriques. Cependant, la *matière* n'est pas complètement laissée de côté. Plusieurs indices viennent nuancer la toute puissance des mathématiques dans l'esprit des ingénieurs, au profit d'une physique expérimentale et appliquée qu'ils cherchent à mettre en place.

Si tous les auteurs font l'éloge des mathématiques, certains insistent aussi sur les sciences de la nature, notamment les ingénieurs de métiers. Jacques Besson, le premier, écrit toute la préface de son manuscrit sur les relations entre les sciences et la mécanique. Or, il fait une large place à la physique aristotélicienne, largement diffusée dans la science scholastique médiévale et encore en place à la Renaissance. Il débute ainsi sa préface par la référence aux quatre éléments, et bien qu'il mette en doute l'existence d'une cinquième essence, il reprend à la scholastique aristotélicienne une division des types de causalité. Et surtout, il définit à quelle cause correspond chaque type de connaissance :

« Les mouvemens qui se font par causes interieures sont principalement considérés et traités par les physiciens, astronomes et medecins qui s'employent a la consideration des choses naturelles. Les autres qui procedent des causes exterieures appartiennent aux mathematiques traitans des choses efficients des figures et qualitez de tous artifices manuelz ditz vulgairement mechaniques, ainsi que nous avons deliberé icy de faire, delaissant aux astronomes ce qui est l'astronomie et aux medecins et phisiciens tout ce qui est de leur part, retenant toutesfois des phisiciens tout ce qui estant bien resolu par eux est propre a notre matiere. »¹⁸

Difficile d'être plus clair. La philosophie naturelle (physique, astronomie, médecine) est bornée dans ses prétentions à ce qu'Aristote estimait le plus difficile à connaître, à savoir la nature des choses, la définition de la matière. L'ingénieur n'en retiendra que les résultats qui lui sont nécessaires, et gardera son attention sur les mathématiques.

¹⁸ « Préface » dans Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.* Par « cause intérieure », Besson entend donc les causes liées à la nature des choses, ce qu'Aristote appelle « cause matérielle ». Par « cause extérieure », Besson comprend la « cause efficiente » d'Aristote, c'est-à-dire l'étude du mouvement et du changement. La « forme » est ce qui définit la machine à concevoir. Le rôle de l'ingénieur est justement de la modeler pour qu'elle soit la plus efficiente possible. La « cause finale » semble abandonnée, la téléologie étant remise en cause à la Renaissance, même si nous en trouvons plusieurs réminiscences dans les « 22 principes nommés pétitions » du manuscrit de Besson.

Cependant la définition des mathématiques que laisse entrevoir ici Besson nous permet de comprendre qu'il ne l'entend pas, loin s'en faut, comme une science purement abstraite. Au contraire définit-il une sorte de mathématiques, que le XVII^e siècle a baptisé « mathématiques mixtes », et qui correspond à la mécanique en tant que science. Ce que met en place Besson, c'est l'idée d'une formalisation par les mathématiques de l'expérience que l'ingénieur acquiert sur le mouvement des objets. Les 22 « principes nommés pétitions » qui suivent sa préface témoignent de cette volonté de formaliser, ici sous forme de maximes, ce que son expérience et son étude des mathématiques et de la physique lui ont appris. Les sentences six à huit sont particulièrement intéressantes à cet égard. Elles définissent des propriétés qui ne sont pas liées au corps lui-même, mais à sa forme : les formes pointues frottent plus, les rondes sont plus difficiles à équilibrer, comme la boule se meut de ses deux côtés, ainsi font les balanciers et contrepoids¹⁹.

Pour un problème, Besson est parfois amené à distinguer exactement ce qui tient des mathématiques et des causes extérieures, et ce qui tient de la physique et des causes intérieures. Ainsi, concernant le frottement, Besson mentionne non seulement l'influence de la forme des objets, mais aussi sa nature dans la treizième pétition où il préconise un lieu « durement uny, ou glissant, et graissé » pour conduire un fardeau. La quinzième pétition, difficile et qui semble paradoxale d'un premier abord, nous permet de mieux comprendre l'apport de chacune des sciences :

« 15. D'autant que s'augmente la repugnance ou quantité des choses meues contre nature, d'autant et plus peult on augmenter la cause mouvante, ou par roues, ou aultres artifices prins des arts mechaniques, et ce jusques en infini : toutesfois la matière de la machination et organe qui est le moien de l'action se dissipera quand on outrepassera les forces qu'elle peut porter, les quelles sont finies pource qu'elle est de matiere (quelle que ce soit) de quantité et de puissance infinie »²⁰

Dit autrement, il explique que toute force résistante (« répugnance ») peut être surmontée par des moyens mécaniques délivrant une force motrice supérieure (« cause mouvante »). C'est ce que la formalisation mathématique lui permet d'affirmer. Il donne cependant à cette possibilité *a priori* infinie une limite dans la résistance des matériaux.

¹⁹ Sur le rapprochement entre la forme arrondie des balanciers et les propriétés du mouvement des sphères (des « boules »), lire aussi Vernard FOLEY, Darlene SEDLOCK, Carole WIDULE et David ELLIS, « Besson, da Vinci, and the evolution of the pendulum », *op. cit.*

²⁰ « Sentences » dans Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.*

Nous pourrions prendre l'exemple de cordes qui cassent sous un trop lourd fardeau, quelque soit leur nombre ou la puissance qu'elle développe (« de quantité et de puissance infinie »)²¹. La limite du matériau, la finitude de la matière, Besson ne peut rien y faire : surmonter ce problème ne relève pas d'une solution géométriquement formalisable, mais appartient à la nature des choses, à la physique, qui n'est pas son domaine de compétence. Tout au plus peut-il rappeler ce résultat que lui fournit la physique : toute matière est finie et a ses limites.

Une formalisation des mathématiques qui se traduit visuellement dans le frontispice du *Timon* d'Ambroise Bachot (Annexe 3 : p. XII). Concernant l'architecture militaire, un compas est placé en bas du frontispice dessinant les formes géométriques d'une fortification dont l'élévation est représentée juste derrière le compas : le compas permet de formaliser géométriquement et à l'avance la fortification. Le reste de l'image donne le même message pour la mécanique. Trônant sur le haut frontispice, trois instruments mathématiques, en réalité trois représentations de « la Barque » – instrument de mesure universelle inventé par Bachot – symbolisent les mathématiques. Au même frontispice sont pendus, sous les « Barques », plusieurs mécanismes : bielle-manivelle, lanternes, roues dentées et semi-dentées, moulin horizontal, balancier, roue à eau et balance. Le lien hiérarchique, voire même de génération, est évident : les mathématiques symbolisées par les « Barques » génèrent, ou au moins dominant et donnent sens, aux organes mécaniques.

Le rapport à la matérialité se fait donc par une formalisation mathématique de l'expérience acquise pendant une vie d'ingénieur²². Jacques Besson dit d'ailleurs clairement dans la préface de son *Livre premier* qu'il ne faut pas être « nourri à l'ombre » pour inventer toutes ces machines. C'est-à-dire qu'il ne faut pas rester toujours à l'intérieur, à lire les livres ; il faut aussi être dehors, il faut avoir l'expérience des choses

²¹ Le terme de puissance est cependant très difficile à définir pour l'époque et jusqu'au XVIII^e siècle, sa définition restera extrêmement floue.

²² Sur ce point, notons cependant une petite différence entre la position de Bachot et celle des autres auteurs. Ces derniers insistent sur la complémentarité entre l'expérience et les mathématiques, Bachot lui pense que l'application des mathématiques à des objets concrets permet de mieux comprendre les mathématiques, dans une visée pédagogique non pas tournée vers l'invention, mais vers les sciences mathématiques.

matérielles. Ce subtil équilibre entre l'étude des mathématiques par l'écrit et l'expérience du terrain est bien décrit par Agostino Ramelli dans la fin de sa préface :

« Je me suis efforcé de tout mon pouvoir d'employer fructueusement mon temps, sans espargner aucune peine de corps & d'esprit. Ainsi ayant par longue pratique premièrement de la guerre, & de la tres frequente lecture que j'ay faicte jour & nuit des plus excellens Escrivains de ceste admirable science [des Mathématiques] »²³

Ramelli montre combien les ingénieurs se situent entre l'expérience du terrain et l'étude, entre l'art et la science, entre la pratique et la théorie. Une position que nous retrouvons dans la dédicace d'Octave Strada qui explique combien son grand-père était « orné & doué [...] d'une intelligence générale des forces mouvantes, mais aussi d'une certaine expérience de quelques machines particulières ». Il s'agit de mettre en avant un art de concevoir en tenant compte de la matérialité. Une tension entre le respect des règles mathématiques posées comme préalable et les problèmes matériels.

Ce lieu médian est la définition même des mathématiques mixtes, qui constituent et délimitent le savoir de l'ingénieur, et apparaît comme la source de l'invention, le lieu du secret. Giovanni Branca nous donne d'ailleurs le fondement de toutes ces réflexions, en expliquant qu'il reprend, dans ses légendes, « tous les principes traités et exposés par Aristote dans ses *Mécaniques*, dont les bases pourront en tout temps servir à l'homme pour inventer des machines »²⁴. Une grande partie de ces mathématiques mixtes fait en effet l'objet de grands débats et études à la Renaissance, et plusieurs savants s'en emparent. Petit à petit, se constituent ainsi les premiers éléments de statique, repris par Zeising, puis Salomon de Caus.

La statique, comme science de référence des ingénieurs, tend vite à devenir autonome, une sous-discipline des mathématiques dont elle se démarque par son attention de plus en plus poussée aux causes matérielles. Cette posture amène les ingénieurs à mettre en place des codes communs autour d'Archimède et de Vitruve, précurseurs de cette science de la pratique, à focaliser leur louange des mathématiques

²³ « Préface sur l'excellence des mathématiques », dans Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, op. cit..

²⁴ « Alli lettori » dans Giovanni BRANCA, *Le machine volume nuouo et di molto artificio*, op. cit. Texte original : “me dichiarati, nelle quali vi son dentro tutti quelli principii, che Aristotile tratta, & propone nelle sue Mekaniche, con il fondamento de quali potrà l'huomo in ogni tempo servirse, per inventar machine, conforme alli bisogni, che se gli presentaranno”.

sur les aspects les plus pratiques de celle-ci, et à douter de la science scholastique. Cela se traduit par des références à quelques mathématiciens connus pour leur œuvre d'explicitation de la statique, comme Jérôme Cardan, cité par Jean Errard²⁵. Cependant, c'est avant tout dans les théâtres de machines plus tardifs que cette influence de la *statique* est la plus explicite. Elle prend la forme d'introductions théoriques, de « vestibules », pour reprendre l'expression de Heinrich Zeising, qui rappellent les grands principes de la statique. Ainsi Salomon de Caus, qui estime nécessaire de donner au roi les moyens de comprendre les machines, s'excuse de faire précéder son théâtre de « 7 ou 8 feuilles [où] sont représentées les raisons des forces mouvantes le plus brièvement & succinctement qu'il m'a été possible ».

Moderne, l'auteur dessine dans ces « quelques feuilles » une méthode de travail et d'exposition pédagogique qui préfigure la mise en place de la science nouvelle, en faisant une place particulière à l'expérimentation et à l'écriture des légendes. Il emprunte (ou donne ?) à la science émergente non ses résultats, mais ses méthodes. Il substitue alors à l'expérience de l'ingénieur, l'expérimentation scientifique, en proposant au lecteur après la définition des quatre éléments sublunaires (feu, air, eau, terre) une série de dix-huit théorèmes. En réalité, il s'agit de véritables comptes-rendus d'expérimentations visant à illustrer soit les corollaires de la propriété des quatre éléments, soit le fonctionnement des machines simples (balance, levier, poulie, roue dentée, systèmes de pignons, et vis). De même, il explique qu'il « a fait l'expérience » de la plupart des machines qu'il présente. Enfin, il s'excuse, à la fin de la préface, de son écriture redondante :

« Quand [sic] aux discours que j'ay fait sur chaque figure, aucuns le pourroient trouver un peu trop prolix, d'autant que je recite quelquefois une mesme chose deux fois, cela ay-je mieux aimé faire, que de laisser aucune chose qu'elle ne soit parfaitement entendue, car si le Lecteur n'entend la chose estant proposee d'une façon, il entendra peut estre de l'autre proposition. »

Cette volonté d'être clair par la répétition fait écho à la volonté de François Beroald de ne vouloir « point d'un langage mignard » pour son édition du *Theatre des instrumens* de Besson en 1578²⁶. Ces arguments de style sont largement repris par les tenants de la

²⁵ Légende de la figure 19 dans Jean ERRARD, *Le premier livre des instruments*, op. cit.

²⁶ Pièce en vers dans Jacques BESSON, *Théâtre des instruments*, op. cit.

science expérimentale du XVII^e siècle, et notamment par Robert Boyle²⁷. Il s'inscrit dans cette volonté de mettre en place un style scientifique, objectif et descriptif. Salomon de Caus pourrait donc être considéré comme un précurseur de la science moderne, mais nous préférons voir dans cette tentative d'asseoir quelques principes mécanique par l'expérience la volonté de marquer sa différence avec une science scholastique encore très présente. Salomon de Caus, de façon certes plus radicale que les autres, marque ici sa différence et son désir de voir les savoirs des ingénieurs reconnus comme tels, et donc de permettre à ces praticiens de la conception d'obtenir la reconnaissance d'une spécialité, d'une sphère commune d'activité, autonome et détachée des autres. Cette sphère, nous l'avons vu, les ingénieurs lui donnent des origines anciennes, à la fois bibliques et gréco-romaines²⁸, il s'agit alors non de revenir à un état ancien, mais de parfaire ce qui fut entrepris par d'illustres prédécesseurs.

Perfectionner l'œuvre des Anciens

Nous avons vu combien les références antiques nourrissent l'imaginaire des ingénieurs, mais celles-ci doivent cependant s'intégrer dans deux limites : non seulement celles de la cosmogonie chrétienne, mais aussi celle des lois naturelles, qui ne sauraient être dépassées. Ainsi, le personnage d'Archimède, consensuel, au génie universellement reconnu, se voit légèrement critiqué dans la préface de Ramelli :

« [Archimède] print si grande confiance en cest art, qu'il osa laisser sortir de sa bouche ceste redoutable parole, du tout contraire à la loy de nature, Donne moy lieu où je puisse demeurer, & j'esbranleray la terre. Le semblable se list d'Architas, lequel a esté si excellent en ceste tres-celebre discipline, qu'il fist une colombe de bois, laquelle voloit & se soustenoit en l'air, comme si elle eust esté vive. Qui pourra donc jamais tant decorer de parolles, & orner de glorieuse louange, les prix & valeurs de ceste sublime science, qui puisse atteindre le comble de ses supremes merites ? »²⁹

La mécanique ne peut se défaire des lois naturelles. Derrière cette affirmation, il y a l'idée que les ingénieurs ne doivent pas se croire des pouvoirs démiurgiques, ne pas voir

²⁷ Steven SHAPIN, « Une pompe de circonstance. La technologie littéraire de Boyle. », *op. cit.* ; Steven SHAPIN et Simon SCHAFFER, *Leviathan et la pompe à air : Hobbes et Boyle entre science et politique*, traduit par Thierry PIELAT et Sylvie BARJANSKY, Paris, Éd. La Découverte, coll. « Textes à l'appui. Anthropologie des sciences et des techniques », 1993, 457 p.

²⁸ Voir *infra* « Mettre la mécanique en récit », p. 173.

²⁹ « Préface » dans Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, *op. cit.*. Archimède aurait prononcé cette phrase à propos de l'effet de levier. Se plaçant dans un contexte purement mathématique, il n'avait pas tort.

trop grand. Nécessaire, la mécanique est cependant finie. Ramelli invite ici les ingénieurs à faire preuve d'humilité, vis-à-vis de la nature et des lois divines. Une position d'entre-deux là encore. Cependant, la citation prise dans son ensemble révèle une position plus ambiguë, notamment en contrebalançant l'idée qu'Architas de Tarente³⁰ aurait lui aussi prétendu pouvoir transgresser les lois naturelles (« Le semblable se list »), tout en mentionnant et louant sa colombe de bois qui se mouvait « comme si elle eust esté vive ». La critique d'Archimède apparaît alors comme un aparté, pour se défendre de critiques d'orgueil éventuelles, suivant une méthode similaire à celles de ces jésuites qui tout en critiquant le système copernicien l'enseignaient. En bref, l'ingénieur ne saurait être démiurge, mais les mathématiques mixtes, qui ont un côté divin, permettent d'approcher, d'imiter, l'œuvre du Créateur. L'idée n'est pas tant de s'opposer aux lois naturelles, comme l'aurait fait Archimède avec son levier, mais de l'imiter comme l'a fait Architas avec sa colombe. Une référence à Architas de Tarente, si symptomatique des relations entre nature et invention, que nous retrouvons dans la préface d'Octave Strada, ou de façon imagée dans le frontispice que Beroald place au début du *Théâtre des instruments* de Besson en 1578. En effet, si nous suivons les regards de l'allégorie des mathématiques et du chérubin de droite, ainsi que la direction donnée par le doigt levé du personnage de droite (Euclide), nous voyons qu'ils se croisent au niveau d'un oiseau. Cet oiseau, qui semble quitter la scène du frontispice, rappelle la colombe d'Architas, et semble être l'aboutissement final des mathématiques, puisqu'elle est désignée par plusieurs personnages.

Cette imitation de la nature est fondamentale pour le récit que les ingénieurs mettent en place, car elle facilite l'acceptation d'une comparaison entre le fonctionnement de la nature et le progrès des machines. Ainsi Ramelli décrit-il la mécanique à l'image d'une rivière, qui s'agrandit des multiples torrents quand elle s'éloigne de sa source, et Ambroise Bachot écrit :

« comme l'on voit en observant les choses naturelles soudain qu'elles sont produites, elle ne cesse jamais selon tous ces moyens de les élever en leur plus grande perfection, semblablement les entendements contemplatifs, selon

³⁰ Architas de Tarente (-435 à -347) était un mathématicien pythagoricien, ami de Platon et homme politique influent de Tarente.

l'occurrence, besoin & nécessité, à l'imitation d'icelle comparant les choses, les unes aux autres, produisent de là plusieurs inventions »³¹

L'idée d'une amélioration de la source vers « la perfection » esquisse bien le concept progrès. Dans les deux cas cependant, il n'est pas considéré comme continu et tourné vers l'avenir, mais comme une explication des améliorations passées des techniques. De même, les deux comparaisons supposent une fin, la mer pour Ramelli, la « perfection » pour Bachot, le progrès des machines n'est pas pensé comme infini. Ce qui intéresse les auteurs, c'est de s'inscrire dans une dynamique d'amélioration des inventions, c'est de montrer qu'il est possible de parfaire des machines existantes, c'est justifier par là même à la fois leurs emprunts à la tradition passée et sa transgression.

Le manuscrit de Jacques Besson explique très clairement ce rapport aux inventions des Anciens. Il s'agit à la fois de « rendre evident ce qui a esté des Anciens par trop grande briefveté delaissé trop obscur et de parfaire ce qui a esté par eux mediocrement avancé », tout en ne reprenant pas les inventions « tellement accomplies qu'il est impossible d'y rien adjouster ». L'idée que se font les ingénieurs de la relation aux anciens n'est nullement une simple érudition, qui permet d'asseoir une autorité, mais un véritable travail de mise à jour. François Beroald l'exprime bien, disant à propos de Besson que :

« S'il eust voulu fuir le travail, & dès sa jeunesse s'emparer de l'autorité des Anciens, à fin de regratter leurs conceptions [...] jamais il n'eust atteint à ceste cognoissance des choses difficiles, de laquelle il a fait profession. »³²

L'étude et l'expérience des choses matérielles sont nécessaires à la bonne compréhension des Anciens. En creux de cette position, une critique de la pensée scholastique, qui « regratte », qui reprend et glose toujours sur les mêmes concepts de philosophie, fusse la philosophie naturelle, au lieu de travailler à parfaire un travail bien entamé par les anciens. Cette idée de participer à un progrès de l'efficacité technique par l'amélioration des machines et inventions anciennes se retrouvent d'ailleurs encore chez Veranzio, qui propose, en tête de ses *Machinae Novae*, une façon de réguler le cours du Tibre, un problème que les ingénieurs romains n'avaient pas su résoudre, en essayant ainsi de reprendre le problème et de lui donner une solution, il invente.

³¹ « A la bande guerrière » dans Ambroise BACHOT, *Le gouvernail*, Melun, 1598.

³² « Préface au lecteur » dans Jacques BESSON, *Théâtre des instruments*, op. cit.

Travailler à un problème, améliorer les machines anciennes comme la nature le fait de ses propres productions, c'est une seconde notion de l'invention qui vient non se substituer, mais s'ajouter à l'idée de trouver dans les mathématiques mixtes des secrets à révéler. En quelque sorte, l'invention ancienne apparaît comme une seconde source de secrets, qu'il convient non seulement de mettre en évidence, mais aussi de parfaire. La critique sous-jacente de toute glose pose pourtant question au regard de la tradition des théâtres de machines. Nous avons vu en effet combien le commentaire se développe et l'invention recule au fur et à mesure qu'évolue la tradition. Ces nouveaux auteurs mettent alors en place une nouvelle argumentation, toujours fondée sur l'idée de découvrir, de mettre au jour, et d'améliorer, qui permet de faire du commentaire un enrichissement et donc une autre forme d'invention.

Enrichir les machines par le commentaire

Comment justifier la reprise et le commentaire des inventions d'un autre ? Distinguons d'abord deux cas. Pour les éditions posthumes des livres de Besson, Ramelli, Zonca ou Strada, l'inventeur est cité dans le titre, il s'agit bien d'éditer, parfois de traduire et/ou de compléter des explications déjà données par l'inventeur réel des machines. Le second cas est celui où l'inventeur n'est pas cité dans le titre, comme ce peut être le cas du plagiat de Bachot envers Ramelli, des reprises de plusieurs inventions par Heinrich Zeising, de la publication de figures anonymes par Branca, ou de la réédition par Andréas Böckler du livre de Strada, mais sous un titre différent et avec des compléments.

Dans le premier cas, il faut d'abord noter que les auteurs eux-mêmes encouragent cette reprise si elle se fait dans un cadre défini. La règle est que toute personne qui critique une invention doit avoir la légitimité pour le faire et surtout proposer une amélioration, une nouvelle invention³³. Cette permission tacite des auteurs laisse la possibilité d'intégrer dans un livre les inventions d'autres personnes, cela est déjà le cas ponctuellement dans les livres de plusieurs inventeurs, mais dans certains ouvrages, la reprise se généralise et donne lieu à un nouvel argumentaire.

³³ Voir *infra* « Quelques bonnes pratiques », p. 228.

Dans le second cas en effet, les inventeurs ne sont pas cités dans le titre. Pour autant, cela ne signifie pas qu'ils sont ignorés des auteurs. Bachot cite et loue Ramelli comme son maître dans ses pièces liminaires, Zeising ne manque jamais de citer l'inventeur d'une machine qu'il présente, Branca prend soin de préciser qu'il n'est pas l'auteur des planches, et Böckler mentionne le livre d'Octave Strada sur les images de son grand-père. En bref, les auteurs de ces livres se présentent vraiment comme des commentateurs. Bachot lui-même explique que le savoir acquis auprès de Ramelli serait comme « un couteau en sa gayne, ou une loy dans les tables, si je n'empanois mes inventions d'une aile de parole escripte »³⁴. Le même auteur écrit plus tard dans le *Gouvernail* qu'il présente les images de machines « les enrichissant d'une facile & nette explication »³⁵. L'écrit vise non seulement à rendre la machine plus facile à comprendre, à appréhender mais aussi à « enrichir » l'invention. Il y a une sorte d'amélioration de la machine par l'écrit, similaire à celle que les inventeurs souhaitaient apporter aux Anciens.

D'une certaine façon, les auteurs des premiers théâtres de machines acquièrent un statut proche des autorités dont ils se réclamaient : loués pour leur ingéniosité, ils peuvent être repris, expliqués et améliorés par l'écrit. Une sorte de seconde « invention » en quelque sorte. À cet égard, il est intéressant de noter combien Heinrich Zeising, filant la métaphore du théâtre, reporte sur le commentateur les lieux communs de « dur labeur » et d'étude assidue, caractéristique « type » de l'ingénieur. Il ne laisse alors à l'ingénieur que le « souci » (« *Sorge* ») de trouver les choses :

« Il est de coutume dans un *théâtre*, dans lequel une pièce va se jouer, d'être principalement trois personnes : les premiers qui agissent et jouent, les autres qui ordonnent et indiquent, les troisième qui sont là pour regarder. [...] Ainsi les premiers sont en charge des soucis, les autres de la fatigue et du travail. Une distinction similaire se retrouve dans notre *Théâtre* ou Schaubuch : ainsi les premiers inventeurs des *machinations* de l'art sont chargés de grands et nombreux soucis, pour réfléchir de la base et des *fondements* de l'art et trouver par de nombreuses *spéculations* de nombreuses machines. Ce n'est pas sans fatigue ni travail qu'on fait un livre où on veut découvrir/inventer³⁶ les machines des gens ingénieux et mettre ensemble différents écrits éparses. »³⁷

³⁴ Dédicace à Jean-Louis de Nogaret dans Ambroise BACHOT, *Le Timon*, op. cit..

³⁵ « A la bande guerrière » dans Ambroise BACHOT, *Le gouvernail*, op. cit.

³⁶ Zeising utilise le mot « *erfinden* », ce qui est intéressant, car le mot, littéralement « trouver à partir de », se traduit aussi par « inventer ».

³⁷ Zeising, TM1, préface. Texte original : „es pflegen in einem *Theatro*, in welchem Schauspiel gehalten werden / fürnemlich dreierlei Personen zu sein : Etliche so da Agiren und spielen : Die anderen so gebieten und weisen : Die

Les inventeurs sont ici considérés comme des acteurs, comme ceux qui jouent, ceux qui agissent, ceux qui réalisent vraiment les machines. Le commentateur est vu comme un metteur en scène, ou plus précisément, un metteur en mot. Dans une pensée proche de la réduction en art, le commentateur est celui qui ordonne le propos. Ce faisant, il inscrit les machines dans un cadre conceptuel plus cohérent et mieux présenté. Sans avoir le génie et le « souci » des inventeurs, les commentateurs et explicateurs sont des érudits qui ordonnent et mettent à disposition du public, en ordre et de façon explicite, les machines, leur donnant le sens que seules et isolées, elles peinaient à avoir. Si l'invention est bien cette découverte, ce dévoilement de choses cachées, le commentaire est nécessaire à l'invention et la prolonge. En un mot, ces commentateurs justifient leur reprise par la diffusion du savoir, par le fait de jouer le rôle social des ingénieurs.

La question de la propriété intellectuelle à la Renaissance

Reste la question de l'emprunt d'inventions qui ne sont pas de l'auteur. Comme le rappellent si justement Hélène Vérin et Louisa Dolza, l'invention à la Renaissance n'est pas synonyme de nouveauté ni d'originalité, mais de découverte et d'acuité du regard. Mais il faut se garder d'évacuer, pour cette raison, toute réflexion sur les questions liées à la « propriété intellectuelle »³⁸. Fondées sur d'autres piliers que la nouveauté, ces questions n'en demeurent pas moins présentes dans tous les discours des inventeurs, à qui elles se posent de façon particulièrement aiguë.

dritten so da zusehen. [...] Denn die übrigen sind zum Theil mit Sorgen die andern aber mit Mühe und Arbeit beladen. / Eben solches tregt sich auch zu in diesem unferem gegenwertigen *Theatro* oder Schaubuch : Denn die ersten Erfinder des künstlichen *Machination* sind mit grossen und vielfeltigen sorgen beladen gewesen in dem sie dem Grund und *Fundament* der Kunst fleissig nachgefinnet und durch wielseltiges *speculieren* vielerlen *Machinas* erfunden haben. Nicht ohne grosse Mühe und arbeit gehet es auch zu wenn man dieselben *Machinas*, so von den Scharffsinnigen Leuten erfunden auss irer und anderer hinderlassenen Schrifftten zusammen bringen und auB vielen ein Buch machen wil.“

³⁸ « La propriété intellectuelle regroupe la propriété industrielle et la propriété littéraire et artistique. La propriété industrielle a pour objet la protection et la valorisation des inventions, des innovations et des créations. [...] Les droits de propriété industrielle donnent un monopole d'exploitation. [...] La propriété littéraire et artistique s'attache avec le droit d'auteur à protéger les œuvres littéraires [...] ainsi qu'un certain nombre de «droits voisins » ». Sur le site de l'INSEE : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/propriete-intellectuelle.htm> (source indiquée : INPI). Consulté le 7 février 2013. Le droit français peut nous aider à éclaircir les différentes facettes du droit d'auteur. Dans le code de la propriété intellectuelle (CPI, disponible sur www.legifrance.fr), les droits d'auteurs se divisent en deux branches, l'une patrimoniale (monopole d'exploitation pour une durée variable) et l'autre morale. Cette dernière branche comprend le droit de paternité (reconnaissance de la filiation entre l'auteur et l'œuvre), le droit au respect de l'œuvre, le droit de divulgation (choix du circuit de diffusion) et le droit de repentir.

Il y a d'abord la question de la paternité de l'invention. Gardons-nous d'un contre-sens : paternité ne signifie pas automatiquement nouveauté, mais peut très bien signifier que l'inventeur est le premier à avoir découvert et traduit par un dessin, une explication ou une réalisation matérielle, la machine d'un Ancien ou un secret mathématique. L'absence d'insistance sur la nouveauté³⁹ ne signifie pas pour autant une absence de paternité de l'invention et des querelles adjacentes⁴⁰. Dans ce cadre, deux choses sont très importantes. D'abord la reconnaissance du travail fourni pour « inventer » une machine, pour partir de principes mathématiques ou de textes anciens pour en mettre une au jour, la dessiner, pour « voir » quels mécanismes sont les plus adaptés et concevoir un ensemble efficace. C'est le rôle premier des dédicaces et des pièces liminaires, rédigées par les auteurs, et plus encore par les commentateurs. Celles-ci affirment avec plus ou moins d'insistance la paternité et la propriété de la découverte, l'origine personnelle des inventions, notamment à travers l'emploi systématique de la première personne et des pronoms possessifs. Giovanni Battista Isacchi par exemple, parle d'un « *mien* répertoire de secrets » (« un *moi* Repertorio di Secreti »⁴¹), ou Ramelli d'une « mienne œuvre », de « miens labeurs ». Ce travail d'invention est encore plus valorisé quand il s'accompagne d'une amélioration. Ainsi Besson d'affirmer « qu'il n'y a icy aucun instrument ny machine pourtraicte, qui ne soit nouvellement inventée, & enrichie par nous »⁴². Deuxième point important, cette reconnaissance donnée par le langage pose la question des modalités exactes de définition de la paternité. Or les théâtres de machines sont au cœur de ces questions si modernes.

³⁹ À bien regarder les légendes des théâtres de machines cependant, l'affirmation d'une nouveauté est présente chez certains auteurs, comme Besson, Errard ou Veranzio (voir *infra* note 33 p. 186 et « Tableau 10 : Caractéristiques et avantages de la machine », p. 187, et Annexe 5 : « Analyse de la « Database Machine D », p. VI).

⁴⁰ Sur les querelles de paternité, l'historiographie insiste ces dernières années sur l'aspect nationaliste de ces recherches, notamment aux XIX^e et XX^e siècles. Cette historiographie, dont le mérite a été de replacer ces querelles dans leur contexte, a eu le défaut de cacher une problématique plus large sur la propriété intellectuelle. L'histoire des sciences a su transformer cette problématique pour faire une histoire des querelles scientifiques. C'est à une histoire du même type qu'invitent certains textes des théâtres de machines.

⁴¹ Préface de Giovanni Battista ISACCHI, *Inventioni*, *op. cit.* Nous soulignons.

⁴² Jacques BESSON, *Livre premier...*, *op. cit.*

L'expérience du plagiat

L'emprunt et la copie de dessins ou de projets, en un mot le plagiat⁴³, étaient choses courantes et acceptées au Moyen-âge comme à la Renaissance. Le plagiat n'émerge comme question qu'au moment où ces emprunts ne sont plus considérés comme « allant de soi ». En ce sens, ce qui est nouveau, ce n'est pas que les inventeurs soient copiés, mais c'est qu'ils réagissent fortement et négativement à ces copies. Plusieurs épisodes dans la vie des auteurs de livres d'inventions en témoignent, les pratiques d'emprunts sont de moins en moins acceptées par les inventeurs, qui cherchent à les délégitimer. Jacques Besson et Agostino Ramelli, les deux auteurs majeurs de cette tradition littéraire ont ainsi attaqué de façon très virulente leurs plagiaires.

L'ingénieur dauphinois, avant d'arriver à Paris et Montargis, a fait l'expérience d'un plagiat délibéré à Orléans. Il était alors « professeur de mathématiques », probablement sur la place publique⁴⁴. Remon Poyntet, disciple de Besson et Benoît « l'Enginieur », fabricant d'instruments publie en juin 1566 un livre intitulé *Le Cosmolabe*⁴⁵, décrivant un instrument universel de mesure. Quelques mois plus tard, Besson publie son propre *Cosmolabe*, dans lequel il dénonce le vol de l'invention⁴⁶, arguant de sa réputation : « chacun cognoist assez par l'effect de mes autres inventions, si j'ay esté capable de trouver le *Cosmolabe* ». La phrase, à elle toute seule, nous fait comprendre que découverte (« trouver »), l'invention n'en est pas moins un objet de paternité (« j'ay esté capable »), et que cette paternité est liée avant tout à la réputation de l'auteur (« chacun cognoist »). Cette nouvelle publication obtient un privilège royal.

Ramelli, quant à lui, accuse, dans le texte « Aux bénins lecteurs » de son *Diverse et artificieuse machine*, certains serviteurs de lui avoir « desrobé plusieurs desseins ». Le mot « dessein » est intéressant. En 1588, date à laquelle Ramelli écrit ces mots, l'orthographe « dessin » n'existe pas et le mot couvre à la fois le sens de « dessin » et de « dessein »,

⁴³ Plagier : « Emprunter à un ouvrage original, et *p.méton.* à son auteur, des éléments, des fragments dont on s'attribue abusivement la paternité en les reproduisant, avec plus ou moins de fidélité, dans une œuvre que l'on présente comme personnelle », TLFi, disponible sur www.cnrtl.fr (consulté le 8 février 2012). Gardons-nous cependant d'ajouter à ce mot la connotation négative qu'il a de nos jours. Son utilisation dans notre propos est neutre.

⁴⁴ « Jacques Besson, ministre de la parole de Dieu et ingénieur », dans Eugénie DROZ, *Chemins de l'hérésie*, Genève, Slatkine, 1976.

⁴⁵ Raymond POYNET, *Le Cosmolabe.*, *op. cit.*

⁴⁶ Sur l'affaire du *Cosmolabe*, voir la notice d'Hélène Vérin sur « Instrumentorum et machinarum » de Besson sur « Architectura », *op. cit.* et Eugénie DROZ, *Chemins de l'hérésie*, *op. cit.*

autrement dit de projet. Les dessins de machines sont des projets de machines, les deux sont inextricablement liés et le vol des dessins est avant tout un vol intellectuel. Ramelli mentionne aussi un traité de fortification qu'il avait l'intention d'imprimer. Martha Gnudi a démontré dès 1974 qu'un des « voleurs » était Ambroise Bachot, et cela ne laisse en effet aucun doute, mais là n'est pas l'important. Plus intéressant est le point sur lequel Ramelli appuie son accusation :

« Aucuns domestiques [...] m'ont desrobé plusieurs desseins particuliers, & adjoustans à iceux, & diminuans quelques inutiles parcelles, inventées de leurs folles fantaisies ; & en les courbans, ou en autre endroict les destournans pour couvrir leurs larrecins, les ont ainsi mutilés [...] Dequoy j'ay bien voulu librement admonnester le sage & prudent Lecteur pour la grande différence du profit qu'il pourra prendre de ces miens labeurs, qui seront parfaits & accomplis, à celui des leurs, fort gastés & mal bastis ; s'il veut prendre la peine d'exposer ces miens labeurs [...] aux clairs rayons de la vérité, de la raison, & de l'expérience, maistresse des actions humaines. »⁴⁷

L'absence de réclamations judiciaires ou pécuniaires est criante. Il n'est demandé réparation ni ici, ni chez Besson. Les deux auteurs rappellent en revanche avec véhémence leur paternité sur les inventions ; et Ramelli insiste sur les distorsions opérées par les plagiaires. Bien avant Balzac⁴⁸, l'ingénieur invoque sans le savoir un second droit moral (après celui de paternité) sur son œuvre : le droit au respect de l'œuvre, à son intégrité. Seul l'auteur ou des personnes autorisées peuvent se saisir de l'œuvre pour la modifier. Ce que Ramelli pointe comme étant grave n'est pas tant le vol sur lequel il s'arrête peu, mais les modifications qui transforment son œuvre, et selon lui, la déprécient ; ce qui pose deux problèmes : d'une part, l'utilité des lecteurs est atteinte et donc l'intérêt de la mécanique est remis en cause, d'autre part, la réputation de Ramelli, vantée par Bachot, est atteinte par ces « mutilations » qui « gâtent » son œuvre. Outre l'évidente fonction rhétorique de cette réclamation pour mettre en avant sa propre œuvre en dénigrant celle d'autrui, l'insistance sur ces droits moraux, et l'absence totale de référence à des droits « patrimoniaux »⁴⁹ méritent d'être interrogées.

⁴⁷ « Aux bénins lecteurs » dans Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, op. cit..

⁴⁸ Balzac est considéré comme le père des droits d'auteurs en France. Il est notamment un fervent défenseur des droits dits « moraux », ceux qui portent sur la modification de l'œuvre.

⁴⁹ En droit de la propriété intellectuelle, les droits dits « patrimoniaux » sont ceux qui donnent aux auteurs et à leurs ayant-droits un monopole d'exploitation, et donc une rémunération possible sur ce monopole ou des droits de dédommagements en cas de diffusion non autorisée.

En effet, le vol en lui-même importe peu. La société et l'utilité universelle ne sont pas en soi remises en cause, il ne peut donc constituer un argument valable dans la rhétorique mise en place dans les livres de machines. De plus, les enjeux financiers qui lui sont liés sont assez minces pour l'inventeur. Ce sont les commanditaires qui supportent les coûts de fabrication d'éventuelles machines, et prennent donc le risque d'exploitation des inventions. Ce sont les éditeurs et les libraires qui supportent la majorité des risques liés à la publication, quand elle n'est pas financée par un mécène.

Derrière cette bataille pour la paternité, il s'agit en fait pour les auteurs de garantir et leur réputation et la validité de leur invention. Et cela pour deux raisons. La première est de rester en accord avec l'idéal d'utilité universelle qui constitue le cœur de leur identité professionnelle. La seconde est liée à leur position sociale. Pour les ingénieurs de métier, la réputation est ce qui permet d'obtenir une commande, d'avoir accès à un mécène. Ni Besson ni Ramelli n'hésitent d'ailleurs à jouer sur cette réputation pour faire valoir rétrospectivement leur paternité. Pour d'autres, notamment pour la noblesse, comme Veranzio, ou Strada, la réputation est un but en soit, il s'agit de faire mémoire d'un nom familial et de lui apporter du prestige.

Auparavant, comme nous le laissait sous-entendre Octave Strada⁵⁰, le secret de fabrication était le fondement de la hiérarchie des métiers, mais aussi de « l'estime » que l'on portait aux maîtres. La réputation était fondée avant tout sur les réalisations et le savoir-faire de l'artisan, protégé par le secret des métiers. L'autonomisation de la fonction de conception à l'œuvre dans l'architecture et la mécanique posait un problème délicat. Autant il est difficile de « voler » un tour de main, autant il est facile de voler un dessin, signe d'un projet, d'un « dessein » plus large. Ce problème était d'autant plus évident que c'est moins la fabrication de telle ou telle machine qui faisait la réputation d'un ingénieur, mais son ingéniosité, sa capacité à trouver la machine la plus adaptée à une situation.

Défendre la paternité de ses inventions

Rendre public ses inventions, d'abord par des traités manuscrits puis par des éditions imprimées, est vite apparu comme le meilleur moyen de garantir la paternité de l'inventeur

⁵⁰ Voir *infra* « La critique du secret », p. 203.

sur de nombreuses machines, et de là, la réputation de l'inventeur. La publication imprimée d'un livre de machines a en effet plusieurs vertus, défendues par les auteurs. La première est de mettre en place une mémoire de l'invention, et des paternités de l'invention. Même en se limitant aux seules meilleures machines présentées, la publication apporte la garantie du souvenir et donc du renom :

« Les hommes sont de telle humeur, que la plus grand part d'entre eux qui auront veu mes machines [...] & les auront jugees admirables, apres les mespriseront, & les reputeront pour choses triviales. Pour quoy donc aurois-je tant despensé de peine & d'argent à les descrire ? [...] pour que ceux qui ont ces inventions en estime] mettent en avant les meilleurs, & les plus promptes en mains, & qu'on en aye mémoire à l'advenir, afin qu'ayant rejettee celles cy nous nous souvenies d'icelles. »⁵¹

Cette fonction mémorielle de l'édition imprimée permet par ailleurs des stratégies de défense en amont, notamment par la constitution de listes d'inventions. Ainsi, Besson, pour éviter d'autres plagiat, donne, à la fin de la préface du *Cosmolabe*, un « Catalogue des meilleures, plus subtiles et plus nécessaires inventions » qui préfigure son théâtre de machines. De même, Veranzio, pour faire mémoire de toutes ses inventions, publie, à la fin de ses explications, un « Indice des machines de nostre invention ». Le livre est utilisé pour sa fonction de registre et de preuve.

En effet, mémorielle, une publication vaut aussi primauté. Trace de l'invention, les livres de machines sont aussi considérés comme des sources potentielles pour régler les litiges d'une paternité si importante pour la réputation d'ingéniosité des ingénieurs. Jean Errard, conscient des problèmes que peuvent poser la simultanéité d'inventions similaires par des auteurs différents, fait ainsi de la publication l'outil principal d'attribution de la paternité, devant la date d'invention. N'est « de soi » que ce qu'on a publié comme tel le premier :

« J'advoue que ce que je tiens pour mien a peu par cy devant⁵² estre faict ou inventé (comme il est possible & se faict ordinairement que deux personnes se rencontrent en mesme invention) mais puis qu'il sort premier de ma boutique, je me l'attribueray à bon droit jusques à ce qu'un aultre en descouvre l'emprunt, ou que par raisons & demonstrations geometriques il soit convaincu de faulx »⁵³

⁵¹ Fausto VERANZIO, *Machinae Novae*, op. cit.

⁵² « Par cy-devant », c'est-à-dire « auparavant ».

⁵³ Jean ERRARD et Albert FRANCE-LANORD, *Le premier livre des instruments*, op. cit..

La phrase peut faire sourire, qui ne cache presque pas l'aveu de l'emprunt⁵⁴, mais elle témoigne bien de la conception du droit d'auteur pour les ingénieurs. La paternité est donnée par la publication d'une part, mais aussi la justesse de l'invention. Sa « fausseté », sa contradiction avec les principes de la mécanique, et donc son dysfonctionnement, son inutilité, retirent à l'auteur tout le fruit de son travail. L'attribution de la paternité n'est valable que si la machine est géométriquement (mécaniquement) valide, et donc utile. Cela explique rétrospectivement la position de Ramelli. C'est parce que la validité de la machine permet l'attribution de paternité que le principal reproche fait aux plagiaires est de modifier la machine et de la rendre « fausse » au regard des principes mathématiques, c'est ce qui permet au « véritable » inventeur de récupérer la paternité d'une machine qu'un premier auteur aurait publié certes en premier, mais de façon fausse. Cette même logique de la primauté de la publication et de l'utilité prévaut encore au XVII^e, lorsque se formalisent en France les modalités d'obtention d'un privilège exclusif d'invention. Il faut alors faire la preuve des deux dimensions de nouveauté et d'utilité de l'invention, les deux étant jugées par l'Académie royale des sciences⁵⁵.

De tels privilèges étaient très rares dans cette fin de Renaissance, cependant, ils étaient fréquents dans la librairie et pouvaient être attribués à des livres d'inventions. Tous les autres auteurs à l'exception de Bachot, Ramelli et Zonca, mentionnent un privilège local (pour Branca), royal (auteurs français), ou impérial (pour Strada) sur leur frontispice. Il est difficile de savoir exactement ce que recouvrent ces privilèges, car dans la plupart des cas, le texte n'est pas imprimé dans son entier. Il est probable que dans une majorité de cas, le privilège soit accordé à l'éditeur pour la publication du livre et non à l'auteur pour ses machines.

Seul trois textes de privilège sont imprimés en liminaire de livres d'inventions : l'un, de dix ans, pour le *Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques* de Jacques

⁵⁴ L'emprunt est effectif. Il suffit de comparer le livre d'Errard à celui de Jacques Besson.

⁵⁵ Le lecteur aura compris que nous entendons par nouveauté une primauté temporelle dans l'invention. Pour une meilleure compréhension des privilèges et de leur rôle, voir notamment Liliane HILAIRE-PEREZ, *L'invention technique au siècle des Lumières*, Albin Michel, 2000, 452 p. et Bernard DELAUNAY, « L'émergence de la technologie... », *op. cit.* Par ailleurs, une ANR « Privilèges » portant sur l'impact économique des privilèges, a été mis en place sous la coordination de Dominique Margairaz, de l'IDHE, avec la collaboration d'ACP (Analyse comparée des pouvoirs, laboratoire de l'université de Marne-la-vallée), d'ICT (Identités, cultures, territoires de l'université Paris 7 Diderot) et du LARHRA (Laboratoire de recherche historique Rhône-Alpes).

Besson, en 1572, et les deux autres, de six ans, pour le livre de Joseph Boillot en 1598, et les quatre livres de Salomon de Caus, en 1614. Point intéressant, les trois privilèges sont accordés nominativement à « Maistre Jacques Besson », à « Joseph Boillot Lengrois », et à « nostre bien aimé Salomon de Caus Maistre Ingenieur ». Le privilège n'est attribué ni à un éditeur, ni à un imprimeur, ni à un libraire, chose exceptionnelle qui justifie sans doute la publication du texte du privilège. Ce choix singulier s'explique dans ces trois cas par le fait que ce sont les auteurs qui engagent le principal coût de fabrication, à savoir celui des planches. Le privilège de Salomon de Caus le précise explicitement : « à fin qu'il se puisse rembourser des frais qu'il à peu faire tant pour l'Imprimerie desdicts Livres que pour les tailles douces des Figures qui sont dedans ». Celui de Jacques Besson est bien moins développé et ne revient pas avec autant de détail sur les raisons qui poussent le roi à accorder le privilège. Rappelons toutefois qu'en 1573, sa veuve avait encore en sa possession les planches de son livre, ce qui signifie bien qu'elles appartenaient à Besson et non à son imprimeur parisien Fleury Prevost⁵⁶. Les privilèges, liés à l'objet livre, sont donc d'abord et avant tout des façons de permettre aux auteurs et imprimeurs de rembourser les frais d'impressions.

Cela dit, bien que plus court, l'« ample & spécial » privilège obtenu par Jacques Besson contient une précision originale, que nous ne retrouvons nulle part ailleurs. Il porte en effet non sur le livre, mais sur les inventions qu'il contient, interdisant « de faire, contrefaire, graver, vendre, ny à se consentir *tant à la peinture qu'en la fabrique* d'aucunes des Inventions contenues en ca present œuvre »⁵⁷. Ici, le privilège s'étend à la fabrication des machines. D'abord, cela suppose que les autorités qui ont rédigé le privilège sachent ce que contient le livre, et sans doute le manuscrit de Jacques Besson n'y est pas entièrement étranger. Ensuite, cela montre combien l'image et la description des machines suffit à donner un droit sur leur matérialisation. Il ne faut toutefois pas se méprendre et voir *a priori* dans cette mention l'idée que Besson pourrait retirer un bénéfice pécuniaire direct de ses inventions. Le privilège n'est pas une sorte de

⁵⁶ C'est sans doute aussi le cas de Bachot, dont les gravures sont de lui-même ou de son frère, et sans doute aussi de Ramelli. En revanche, Strada montre une attention particulière à l'investissement des imprimeurs dans la gravure des tailles douces. Le passage du livre d'inventions au théâtre de machines se fait aussi par le transfert de l'investissement de l'auteur à l'éditeur.

⁵⁷ Privilège de Jacques BESSON, *Livre premier...*, *op. cit.*. Nous soulignons. Le privilège est repris pour les éditions de 1578, 1582 et 1602

« privilège exclusif » étendu à toutes ses inventions. Le contexte est radicalement différent, et l'usage d'un tel privilège serait entièrement contraire à l'éthique d'utilité universelle développée jusqu'à alors par les ingénieurs qui publient les livres d'inventions. Par ailleurs, Hélène Vérin a montré, en étudiant la vie de Salomon de Caus, que le métier d'ingénieur se fonde d'abord sur la commande de princes et non sur la conception *a priori* de machines en vue d'alimenter une offre marchande. Concernant particulièrement Jacques Besson, les deux versions de sa dédicace au roi Charles IX montrent qu'il s'inscrit pleinement dans une entreprise de légitimation de sa réputation, afin d'entrer sous la protection du souverain, sans jamais mentionner de bénéfice matériel direct lié à son invention. En résumé, ce n'est pas l'invention qui se vend, mais l'inventeur.

Pourquoi alors préciser « en la fabrique » ? D'abord, certaines planches de Besson représentent des machines à la marge des compétences de l'ingénieur : ainsi de ses compas, ainsi aussi des quelques tours qu'il présente à destination des artisans. Ces instruments et machines pourraient faire l'objet d'un commerce marchand. Cependant, et de façon plus générale, nous pensons qu'il faut voir dans cette précision une volonté de généraliser la garantie de l'attribution de paternité et du respect des droits « moraux » (ne pas « contrefaire »). Le privilège n'insiste pas sur les bienfaits économiques que pourrait en retirer Besson, il précise simplement que pour représenter ou fabriquer ses inventions, il faut obtenir l'autorisation de l'inventeur. Le privilège n'est pas tant un moyen de vendre ses inventions de façon exclusive, que de contrôler leurs usages, et éviter qu'une invention similaire profite à la réputation et à la richesse d'un autre inventeur, qui ne le citerait pas, et s'accorderait le bénéfice (en réputation) de la machine.

Quelques bonnes pratiques

Les ingénieurs cherchent donc à instaurer un jugement par les pairs et à défendre leur propriété intellectuelle non pour des raisons économiques, mais pour des raisons de réputation, notamment auprès d'autorités extérieures. Certes la publication est un bon moyen de défense contre ceux qui empêchent les ingénieurs de profiter de la réputation que devrait leur donner leurs travaux, mais n'est-ce pas aussi un outil de diffusion et d'échanges des connaissances mécaniques ? Pour réussir à lever cette contradiction, il faut trouver d'autres règles. Rarement clairement énoncées, elles se diffusent cependant

sous l'aspect de bonnes pratiques que chacun s'engage plus ou moins explicitement à respecter⁵⁸. Nous en distinguons au moins deux.

La première consiste à ne pas critiquer indûment ou nominativement les auteurs, et surtout à ne pas critiquer sans corriger, sans proposer d'alternative. Ainsi Besson, à la fin de sa préface au *Livre premier des instruments* précise : « si quelqu'un la contemne & desprise, il doit à bon droit estre remarqué d'enuie & ingratitude, mesmement s'il ne sçait, ny ne peut faire mieux ». Ou encore Böckler :

« Si quelqu'un a de bonnes raisons de modifier ou d'améliorer ce traité, qu'il le fasse sans crainte, publiquement cependant, plutôt que de calomnier par des détours sophistiqués comme cela arrive souvent de nos jours »⁵⁹

Isacchi et Errard critiquent pareillement la facilité avec laquelle certains médisent de leurs œuvres, tout en encourageant le lecteur à faire part d'améliorations possibles au public. Il s'agit à la fois de refuser des attaques *ad hominem* et, déplaçant la critique sur les seules machines, la limiter au strict cadre des mathématiques mixtes (« de bonnes raisons »). L'objectif rejoint celui de limiter le jugement aux pairs et experts dans cette discipline, afin d'apaiser le débat, et de permettre aux auteurs de garder intact leur réputation, tout en laissant un espace ouvert pour une critique constructive et publique, permettant au dialogue d'être éclairci. Dans les faits, les auteurs s'autorisent rarement des critiques envers d'autres inventeurs (sauf les « envieux »), les louant au contraire. Seul Salomon de Caus critique ouvertement Besson et Ramelli « et quelques autres »⁶⁰, mais il prend garde de limiter sa critique aux inventions sans rien dire des auteurs et de l'appuyer sur une raison mathématique précise, à savoir la liaison entre démultiplication des forces et multiplication du temps⁶¹. Le cadre du débat est ainsi limité : refus des

⁵⁸ Nous pouvons remarquer le parallélisme entre la construction de la classe sociale des ingénieurs et la mise en place d'une nouvelle organisation de la science qui se fonde sur un modèle similaire. La déontologie qui se construit est en grande partie reprise dans les écrits de Robert Boyle notamment.

⁵⁹ Georg Andreas BÖCKLER, *Theatrum machinarum novum*, op. cit., préface. Texte original : „Weiss er aber dieses mit gutem Grund umzustossen oder zubessern so thue er solches ungescheuet jedoch offentlich und nicht mit Sophistischen Uffzügen heilosen Schmach reden Passquillen oder dergleichen wie heutige Tags fast wir hoch es auch verboten gemein werden will; als wollen wir dessen bessern Vortrag gerne annehmen die Calumnien aber abzustrassen der Obrigkeit enheim gestellet haben.“

⁶⁰ « Epistre au lecteur » de Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes*, op. cit..

⁶¹ Par ailleurs, par sa vision très physique des phénomènes, Salomon de Caus critique d'une certaine manière les inventions faites « sur le papier », privilégiant l'expérimentation plus que tout autre. Enfin, notons que de nombreuses machines de Ramelli et de Besson n'utilisent pas de roues dentées et même dans ces cas là, il est fort probable qu'ils soient conscients de ce lien avec le temps, cherchant juste à mettre en avant d'autres utilités que le rendement (sur ce point, voir « Tableau 10 : Caractéristiques et avantages de la machine », p. 187

critiques extérieures à la profession (envieux, savants), refus des attaques *ad hominem*, respect du cadre des mathématiques mixtes, proposition d'alternatives.

La seconde bonne pratique consiste à permettre aux auteurs de publier une machine qu'ils n'ont pas inventée, à condition qu'ils le précisent au lecteur. Veranzio, par exemple, précise que sa 19^e invention lui « a este naguere enseigne par un [s]ien amy ». Cette absence avouée de paternité est aussi présente dans le cas de machines existantes et simplement observées. Ainsi Bachot explique à propos d'une meule actionnée par un manège humain, qu'elle a été « vu en usage à la citadelle de Turin en février 1577 »⁶². Vittorio Zonca précise aussi le lieu d'usage de la plupart des machines qu'il décrit⁶³. Le rôle de l'auteur est alors moins de montrer ce qu'il a lui-même inventé ou découvert que de diffuser l'invention d'un autre. Veranzio notamment le dit explicitement, à propos de la faux, alors utilisée surtout pour couper l'herbe, mais dont Veranzio préconise l'usage pour couper les céréales ; ou encore à propos de ce « moyen tres aise pour eslever un pois, et non nouveau, touttefois (chose dont je m'estonne) fort inusité ».

Dans certains cas, l'auteur précise même le nom de l'inventeur. Il s'agit alors d'attribuer la machine à un inventeur pour lui rendre le mérite de l'invention, et qu'il puisse en retirer le bénéfice. De cette façon, Jean Errard explique à propos d'une machine à filer la laine qu'« Afin d'attribuer à chacun ce qui luy appartient, j'ay bien voulu monsté en ceste figure qui n'est de mon invention, mais de maistre Charles Deruet »⁶⁴. Il s'agit bien entendu de laisser aux « vrais » inventeurs le bénéfice de leur invention en termes de réputation. Cette démarche permet aux auteurs non seulement de présenter leurs propres inventions, mais aussi de diffuser les savoirs mécaniques, préfigurant le passage des livres d'inventions aux théâtres de machines.

Dans les deux cas, les bonnes pratiques visent à promouvoir une certaine honnêteté intellectuelle, qui constitue un des codes majeurs de la profession. Les ingénieurs ou les éditeurs, visent, par l'ensemble du péri-texte accompagnant la présentation des machines

⁶² Il était alors encore au service d'Agostino Ramelli.

⁶³ Cependant Zonca ne précise pas ce qu'il doit à Giorgio Martini pour les six dernières planches qui en sont pourtant très fortement inspirées. De façon générale, les auteurs mentionnent ou les Anciens, ou les contemporains, rarement les ingénieurs du XV^e siècle, auxquels ils empruntent pourtant souvent.

⁶⁴ Jean ERRARD, *Le premier livre des instruments*, op. cit.. Charles Deruet est un horloger lorrain célèbre. C'est le père de Claude Deruet, peintre français.

non seulement à légitimer leur activité, à définir la place de l'invention dans l'espace public, mais aussi à mettre en place les codes communs nécessaires à l'émergence d'une communauté unie. Défendre l'invention, son intérêt, sa paternité, sa justesse (mathématique), l'objectif de ces codes ne prend sens que dans les inventions présentées. Premier point en effet pour entrer dans la communauté des ingénieurs : savoir inventer, savoir s'adapter aux situations, savoir stimuler son ingéniosité. Et c'est finalement à cette question précise que répondent les contenus des théâtres de machines, par des moyens différents et avec un objectif pédagogique plus ou moins prononcé selon les cas.

Chapitre 7 : Ordonner l'invention : la topique inventive

Une fois posés les objectifs, tant en terme de réputation personnelle que de légitimation de la conception, il reste aux théâtres de machines à relever deux défis de grande importance : donner à voir l'invention et apprendre à inventer. « Les auteurs de l'époque sont convaincus que ce qui rend une chose digne d'admiration, c'est l'acte de l'*ingegno* qui l'a conçue » nous dit Robert Klein¹. Les auteurs plaçant la mécanique au dessus de tous les arts font de l'invention mécanique la première des inventions. Le problème principal est que l'invention, par définition, est une opération de l'esprit. Les auteurs ne cessent de le rappeler qui mentionnent les heures qu'ils ont passées à étudier les mathématiques. Comment rendre compte, donner à voir cette opération de l'esprit qu'est l'invention ? Comment à la fois figurer une abstraction et le processus qui l'a vu naître ? À ce rôle des livres d'inventions s'ajoute l'ambition pédagogique des théâtres de machines ultérieurs. Il ne s'agit pas seulement d'expliquer les machines, mais bien d'apprendre à « inventer », de permettre au lecteur de trouver la machine qui convient à ses besoins, de l'adapter et « l'enrichir ». Comment organiser l'ouvrage pour répondre à ces deux problèmes ?

Le mode d'exposition des théâtres de machines est ce qui définit le corpus². Assez homogène il s'appuie sur l'unité de base fixe qu'est l'objet inventé, une machine le plus souvent : pour 195 machines, Ramelli propose 195 chapitres. Chaque machine est présentée par une image, et une légende (dont le contenu varie beaucoup d'un auteur à l'autre), et toutes ces images légendées sont placées les unes à la suite des autres, dans des séries qu'aucun péri-texte particulier ne semble organiser. Chaque « figure », comme l'écrit Besson, semble autonome : une image, une machine, une explication. Cela leur

¹ Robert KLEIN et André CHASTEL, *La forme et l'intelligible : écrits sur la Renaissance et l'art moderne*, Paris, Gallimard, 1970., p. 88, note 3, cité dans Luisa DOLZA et Hélène VERIN, « Une mise en scène de la technique : les théâtres de machines », *op. cit.*

² Voir définition du corpus donnée en introduction, p.13.

permet de valoriser leurs propres compétences : à l'abondance des inventions présentées correspondrait la grandeur de l'*ingenium* des auteurs. L'usage des images et leur succession définissent mieux ce type d'ouvrages que ne le fait le texte, légende venant compléter une image jugée première dans ce mode d'exposition.

Il reste à comprendre comment cette organisation permet de relever les défis posés par ces ouvrages. Afin de voir les réponses apportées par les auteurs, quatre points semblent alors devoir attirer toute notre attention : l'ordre de succession des images, le choix des machines représentées, la façon dont les images rendent compte de cette invention (les modes de représentation), et l'apport de la légende dans son rapport à l'image.

Les deux premiers points font l'objet de ce chapitre, les deux derniers celui du chapitre suivant, mais avant de débiter l'exploration des livres de machines, quelques remarques s'imposent. D'abord, si le mode général d'exposition (séries d'images légendées) est commun à tout le corpus, les différences sont grandes d'un auteur à l'autre dans les modalités avec lesquelles ce mode d'exposition est mis en place. Il s'ensuit qu'il faut parvenir à la fois à montrer ce que les ouvrages du corpus ont de différent avec le reste de la littérature mécanique, et ce qu'ils ont de différent entre eux. Pour cela, nous nous aidons largement de bases de données : la DMD³ de Markus Popplow et Wolfgang Lefèvre, et « Machines 1.7 », réalisée par nos soins, et axée sur les mécanismes utilisés, pour les inventions de Besson, Ramelli et Zonca⁴.

La topique, un concept cicéronien

La topique est une notion rhétorique développée par Cicéron, qui a été bien moins étudiée que deux autres concepts qu'il a aussi formalisés : la réduction en art⁵ et la technologie⁶. Pourtant, si ces deux derniers ont largement influencé la mise en ordre des savoirs à l'époque moderne, la topique, entendue comme un système cohérent et

³ Wolfgang LEFEVRE et Marcus POPLOW, « DMD - Database Machine Drawings », *op. cit.*

⁴ Le manque de temps ne nous a pas permis de compléter la base pour les autres auteurs. Voir Annexe 4 : « La base de données « Machines 1.7 » », p. CVI.

⁵ Pascal DUBOURG GLATIGNY et Hélène VERIN (dirs.), *Réduire en art*, *op. cit.*

⁶ Anne-Françoise GARÇON, « The three states of technology: an historical approach to a thought regime, 16th - 20th centuries », in Michel FAUCHEUX et Joëlle FOREST (dirs.), *New Elements of Technology*, Belfort, UTBM, 2012.

organisé de lieux communs, est l'outil majeur de toute invention. Cicéron le dit explicitement :

« Toute logique bien faite se divise en deux parties, l'invention et le jugement : dans l'une et l'autre Aristote me paraît exceller. Les stoïciens ne se sont occupés que de la dernière [...] qu'ils nomment la *Dialectique* ; mais ils ont entièrement négligé l'invention ou la *Topique*, qui, dans l'usage, est d'une plus grande importance, et qui, dans l'ordre naturel, est certainement la première de ces deux parties. »⁷

Pour Cicéron, l'invention désigne le fait de trouver les bons arguments pour un juriste ou un philosophe. À la Renaissance, Giordano Bruno utilisait la topique, et au début du XVIII^e siècle, Giambattista Vico en fit un des piliers de sa science nouvelle⁸. De façon générale, Patricia Falguières, dans son étude sur les cabinets de curiosités, a su montrer combien cette pensée a irrigué une certaine organisation des savoirs en Europe de la seconde Renaissance au XVIII^e siècle⁹. En étudiant de plus près les principes d'organisation de la topique cicéronienne, nous voyons combien la comparaison avec l'invention mécanique est riche d'enseignements, car, comme pour les machines, l'invention rhétorique se pense comme une découverte :

« Comme il est facile de trouver une chose cachée, si le lieu où elle se trouve est indiqué ou marqué par un signe ; de même, quand nous voulons découvrir un argument, il faut que nous connaissions les lieux : c'est ainsi qu'Aristote appelle ces espèces de réservoirs où l'on va puiser les preuves. »

« Preuves » ici s'entend dans le sens juridique du terme. Tout le traité de Cicéron vise justement à expliquer comment un « jurisconsulte » peut facilement trouver les preuves nécessaires à sa plaidoirie, mais Cicéron développe un autre point, en montrant les relations entre les lieux. Il les classe en effet en plusieurs catégories, et montre l'opération mentale qui préside à leur création, leur logique. En ce qui concerne la rhétorique, qu'elle

⁷ Nous utilisons CICÉRON, *Les Topiques*, http://www.mediterranees.net/art_antique/rhetorique/ciceron/topiques.html, traduit par DELCASSO, consulté le 26 février 2013.

⁸ Dans un discours resté célèbre, Giambattista Vico propose de faire précéder l'étude de la « critique » cartésienne par celle de la Topique des Anciens. Pour lui, l'apprentissage des lieux communs permet en fait d'inventer et de choisir les bons arguments avant de les soumettre à la critique. Giambattista VICO, *La méthode des études de notre temps*, traduit par Alain PONS, 1708 (1981), disponible sur http://www.intelligence-complexite.org/fileadmin/docs/0511vico_pons.pdf (consulté le 26 février 2013).

⁹ Patricia FALGUIERES, *Les chambres des merveilles*, *op. cit.*. Patricia Falguières argue principalement de la topique comme système de signe aidant à la mémoire, nous développons plutôt l'idée que la topique est une méthode d'invention. C'est selon nous, la différence principale entre les premiers livres de machines et les nouveaux théâtres de machines : les premiers proposent une topique inventive, les seconds une topique qui confine au catalogue. Voir *infra* « Chapitre 7 : Ordonner l'invention : la topique inventive », p. 232.

soit philosophique ou juridique, ces lieux, énumérés par Cicéron, suivent une logique aristotélicienne. Il distingue d'abord les lieux « intimes », liés directement au sujet, qui le définissent, en sont tirés, ou s'en rapprochent¹⁰ ; des lieux « extérieurs », qui désignent en fait les témoignages et les arguments d'autorité. Cette dernière partie revient en détail sur les critères de fiabilité d'un témoignage.

Les principes qui régissent les lieux de l'invention mécanique ne sont pas tout à fait les mêmes que ceux qui régissent la rhétorique, car l'objet n'est pas exactement le même. Aux mots du discours se substituent l'image du projet et la matérialité de la machine. Cependant, certaines similitudes dans les façons de penser l'organisation des propos, méritent d'être travaillées, car elles permettent de réaliser une typologie des topiques utilisées selon les auteurs de livres de machines, comme nous le montrons un peu plus bas¹¹.

Notons un point important. Cette topique cicéronienne est bien différente de la réduction en art, et pour cause : leur objet est différent. La réduction en art visait à rendre compte et organiser les savoirs de tout type, dont les savoirs techniques. Il s'agit de mettre en ordre, de rendre sous une forme écrite et méthodique un savoir dispersé et parfois oral. Les topiques ne visent pas à la vérité, à la méthode, ou l'organisation des savoirs, mais à l'*inventio*¹². Il s'agit de trouver un moyen de parcourir rapidement l'ensemble des « arguments » existants, des idées disponibles sur un sujet, puis de choisir le ou les plus appropriés et de les adapter au projet. L'usage des lieux communs apparaît alors comme une modalité de l'action davantage que comme la méthode de rédaction d'un ouvrage. Comment les auteurs de théâtres de machines peuvent-ils alors s'inspirer des principes développés par Cicéron pour organiser leur propos ?

¹⁰ Les lieux « intimes » sont : « la définition, l'énumération des parties, les signes, les conjugués, le genre, l'espèce, la similitude, la différence, les contraires, les dépendances, les conséquents, les antécédents, les choses qui répugnent entre elles, les causes, les effets et la comparaison avec supériorité, infériorité ou égalité ».

¹¹ Voir *infra* « Des topiques différenciées », p. 244.

¹² « Inventio, onis, f. (invenio) : 1. Action de trouver, de découvrir [...] 2. Faculté d'invention » dans Félix GAFFIOT, *Dictionnaire illustré latin-français*, Paris, Hachette, 1934 (1966).

Du bon usage des livres de machines

L'objectif des théâtres de machines est bien plus proche des principes de la topique que des objectifs de la réduction en art. Les lecteurs sont invités à lire et relire les ouvrages, et à ne pas « s'arrêter à la rude écorce de la lettre, mais avec subtil jugement pénétrer les profonds secrets cachés »¹³. Plus que lever le voile du secret, l'auteur l'invite à passer derrière le voile, il invite le lecteur à entrer dans les études, à pénétrer le monde obscur des mathématiques mixtes, et même à enrichir les inventions proposées. Ainsi, dans l'ode aux amateurs de sciences, qu'il publie en 1578 dans le *Theatrum instrumentorum* de Jacques Besson, François Beroald écrit :

« Veuillez de cœur accueil faire / A ce Theatre divin, / Ou qu'a part soit on s'incite
/ D'y mettre à mieux mieux la main. / [...] / Il m'incite le courage, / Pour parachever
mon aage / A l'imiter seulement : / Ce que faisant, je desire / Que ceux qui me
viendront lire, / Soyent tant sur moi envieux, / Qu'au regard de mon ouvrage / Ils
soyent espris d'avantage, / Et taschent à faire mieux. »¹⁴

La fin de cette ode vient après un long développement sur le thème couru des vanités. Rappelant la finitude des choses terrestres, Beroald appelle le lecteur à l'étude, et en particulier à l'étude de l'ouvrage de Besson. D'une certaine manière, l'ajout de Giulio Paschali répond à cette demande, qui vient enrichir l'ouvrage de nouvelles « additions ». Contrairement à ce qu'en ont fait une lecture tardive, ces livres de machines ne se présentent pas comme des catalogues d'inventions dans lequel il suffirait de venir piocher, mais plutôt comme des guides sur le chemin de la découverte du secret. Il s'agit non pas de profiter d'une machine inventée par un autre, mais d'apprendre à découvrir les secrets, à inventer, au sens renaissant du terme, les machines nécessaires aux besoins du lecteur. Giovanni Branca est sans doute celui qui l'explique le plus clairement :

« J'ai assumé la charge de les légèrer sur les prières d'un ami, et ce pour le profit de tous, et de les ordonner par numéro, pour que l'on comprenne les dispositifs préparés, et à quel fonction chaque partie est destinée ; et j'ajoute que les machines peuvent s'adapter et servir à d'autres opérations, en plus de celles qui sont décrites dans cette œuvre. Ceci pourra se faire selon le génie [« *ingegno* »] et l'aptitude de l'opérateur, qui, plus compétent il sera, plus il en rapportera du fruit. »¹⁵

¹³ « Aux bénins lecteurs » dans Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, op. cit..

¹⁴ « Ode aux amateurs de sciences » dans Jacques BESSON, *Théâtre des instruments*, op. cit..

¹⁵ « Au lecteur » dans Giovanni BRANCA, *Le machine volume nuouo et di molto artificio*, op. cit. Texte original : "ho

Dans la fin de son épître au lecteur, Giovanni Branca, nous le voyons, insiste sur l'importance du travail d'écriture et de classification : c'est le mode d'exposition de l'ouvrage qui permet au lecteur de mieux saisir ce qui importe dans les inventions présentées. Ainsi, il peut choisir la machine, non pas dans le détail, dans son entier, mais dans son « idée », dans ce qui fait son originalité. Il est ensuite invité à adapter cette machine à la situation, en un mot, à inventer à partir d'un motif prédéfini.

Pourtant, l'organisation des livres de machines a souvent été critiquée¹⁶. Déroutante, celle-ci contrevient en effet à notre vision du traité, et même à celui des autres traités de la même période sur les pratiques¹⁷. Alors que les auteurs se réclament toujours davantage de la science mécanique naissante, l'organisation des machines dans le livre ne semble pas en tenir compte, du moins pas explicitement. Il aurait été possible de faire des traités plus axés sur les différentes façons d'utiliser le levier, le coin, ou alors d'organiser les machines selon leurs énergie. Rien de cela n'apparaît dans ces ouvrages où n'apparaît aucune « partie » clairement distinguée par l'auteur.

Cela peut s'expliquer par le fait que cette forme savante de présentation ne permettrait pas aux auteurs de relever les défis de montrer et susciter l'invention. Pour autant, cette absence d'organisation en surface ne signifie pas une absence de choix dans la succession des images. Au contraire, l'ordonnancement suit une tradition classique de la rhétorique : l'usage de lieux communs. Ce dont témoigne d'ailleurs l'appellation de « théâtre », comme l'explique si bien Louis van Delft :

« [Le *Theatrum vitae humanae* de Zwinger] se veut aussi plus que tout, par sa collecte d'exemples et de lieux communs, un « trésor » rhétorique, inépuisable source de l'*inventio*. Sa visée est totalisante. Son ambition n'est rien de moins que cosmique. Dans son principe, dans sa mise en œuvre, il est d'ordre tout encyclopédique. »¹⁸

Collecte d'exemples et de lieux communs, les livres d'inventions se présentent comme tels en effet, et jusqu'aux ouvrages de Strada dont Vittorio Marchis et Louisa

assunto questo peso di dichiararle à preghiere di amico, & à beneficio commune, & ordinarle per numeri, con che si potrà conoscere l'ordegni preparati, & à che sine ciascuna parte sia destinata, soggiogendole dette machine si possono adattare, & far servire in altre operationi, oltre à quelle, che in quest'opera vengono espresse; il che si potrà fare, secondo l'ingegno, & capacità dell'operante, il quale quanto più sarà atto, tanto maggior frutto ne riporterà."

¹⁶ Ensuite, nous ne réitérons pas ici la défense des critiques adressées aux contenus théâtres de machines, et nous renvoyons pour cela à l'article de Mme Verin et Dolza : Luisa DOLZA et Hélène VERIN, « Figurer la mécanique », *op. cit.*

¹⁷ Sur ce point, voir notamment Pascal DUBOURG GLATIGNY et Hélène VERIN (dirs.), *Réduire en art*, *op. cit.*

¹⁸ VAN DELFT Louis, « L'idée de théâtre (XVIe -XVIIIe siècle) », *op. cit.*

Dolza montrent qu'ils sont composés d'*exempla*¹⁹. Si le nom de « théâtre » est réservé à ceux qui ont une visée pédagogique et encyclopédique, ce qui explique la prolifération de cette appellation outre-rhin, et ce jusqu'au XVIII^e siècle²⁰, l'organisation du livre sous forme de successions de lieux communs, semble correspondre à l'ensemble du corpus, livres d'inventions compris. C'est donc une topique qui se donne à voir dans les livres de machines²¹.

Définir le sujet : la pensée par série

Avant de pouvoir mettre en place et développer une topique, il faut bien entendu un sujet. Pour Cicéron, le sujet est un problème juridique. Il s'agit alors, dans cette situation, de trouver – d'inventer – les arguments pour défendre telle ou telle position. En ce qui concerne les philosophes, que Cicéron cite aussi comme des « usagers » de la topique, il s'agit toujours de trouver les arguments pour défendre une opinion. Qu'en est-il dans les livres de machines ?²²

Le sujet général est bien entendu la conception mécanique, trouver – inventer donc – des machines utiles. Mais cela est trop général pour que soit mis en place des exemples et définie une topique. Il faut trouver un cadre plus fin. Cicéron ne place en effet jamais ses exemples au niveau du droit général, mais dans des situations-types. Peut-on définir un équivalent à ces « situations-types » dans les livres de machines ?

Nous l'avons vu, les ouvrages n'ont pas de parties définies. Les auteurs mettent en avant des inventions particulières et la majorité des livres de machines ne donnent aucune explication quant à leur organisation générale. Cependant, à observer la succession des machines, nous pouvons voir apparaître des séries, assez cohérentes.

¹⁹ Luisa DOLZA et Vittorio MARCHIS (dirs.), *L'album fiorentino dei « Disegni artificiali » raccolti da Jacopo e Ottavio Strada*, coll. « Tecnica curiosa », 2002.

²⁰ Tous les livres de machines écrits par des allemands portent le nom de *Theatrum machinarum* (Zeising, Böckler, Leupold).

²¹ La même idée est rappelée par Patricia Falguières dans un compte-rendu de lecture de deux fac-simile (Patricia FALGUIERES, « Review: sur Besson et Strada des éd. delle elefante. Rossi, Vérin, Dolza, Jensen. », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, Août 2003, vol. 58, n° 4, pp. 910-912.), publié dans les Annales : « [il faut] rapporter le titre même de « théâtre » à l'univers de la topique dont il provient directement : un *Théâtre* est une série exhaustive de « cas » de lieux communs ».

²² Il est difficile de savoir exactement si l'organisation de type topique que nous allons mettre en évidence par la suite est inspiré d'Aristote, Cicéron ou même Giordano Bruno, ou si simplement, recherchant une méthode pour susciter l'invention, rhétoriciens et ingénieurs se sont « rencontrés » dans cette même méthode pour reprendre l'expression de Jean Errard.

Ainsi le livre de Jacques Besson présente dans l'ordre six instruments mathématiques, puis quatre « tours », puis deux machines pour la forge (soufflet, martinet), deux scies, trois véhicules terrestres, cinq machines pour la construction sur l'eau, quatre moulins à farine, cinq treuils, cinq grues et machines élévatoires, huit machines à élever l'eau, et sept machines liées aux ports et à la navigation, chaque série étant parfois séparée de l'autre par une ou deux machines « récréatives », annoncées dans les pièces liminaires²³. Jean Errard propose aussi des séries : trois treuils, cinq grues, quatre moulins à farine, sept machines à élever l'eau, trois ponts, quatre instruments de mesure des distances..., et ainsi font presque tous les auteurs.

Les auteurs font cette classification de façon parfaitement consciente. En effet, si ces successions ne sont jamais explicitées dans les introductions des ouvrages, la mise en série est rendue évidente pour le lecteur qui prend la peine de lire l'ouvrage du début à la fin. Plusieurs indices sont disposés dans les légendes, qui témoignent de cette idée que, pendant quelques pages, l'auteur propose des machines similaires. Jacques Besson, par exemple, commence les descriptions de ses tours par ces expressions où l'usage d'adjectif (nouveau, autre), et parfois d'adjectifs numéraux ordinaux, permettent de délimiter une série : « Tour nouveau... », puis « Autre manière de tour tiré du précédent... », puis « Tierce espèce de tour... », et enfin « Autre sorte finalement de tour... » ; avant de débiter une nouvelle série sur les forges : « Espèce de contrepoix nouveau... », suivi de « Machine qui doyt ensuyvre la précédente... »²⁴. Chez Besson, comme dans les livres d'inventions, l'adjectif « nouveau » utilisé seul permet de marquer le début d'une nouvelle série, qui se développe au gré en plusieurs inventions. Pour autant, le même adjectif « nouveau » peut être utilisé au sein d'une même série quand il est accompagné d'un adjectif, ainsi chez Jean Errard la « Quatriesme & nouvelle composition de machine... » qui clôt la série sur les grues portuaires, avant de continuer sur une « Nouvelle sorte de molin... », et « Aultre manière de bastir molin à vents... »²⁵.

Un auteur comme Ramelli abandonne toute prétention à la nouveauté, et ainsi font la plupart des auteurs après lui. Il n'y alors plus de marqueurs de début de série. En

²³ L'annonce est explicite dans le manuscrit, moins évidente dans la version imprimée.

²⁴ Légendes des figures 7 à 12 de Jacques BESSON, *Livre premier...*, *op. cit.*.

²⁵ Légendes 12 à 14 de Jean ERRARD, *Le premier livre des instruments*, *op. cit.*

revanche, en expliquant les fonctions des machines, il insiste lourdement sur leur similarité et renforce la cohérence interne de ses grandes séries en ajoutant de nombreux adverbess à ses légendes : « l'on peut faire *mesmement*... », « L'effect de ceste autre façon de machine, est de faire *pareillement*... », « L'opération de ceste autre façon de machine, est *semblablement* pour... », « Par l'opération de ceste autre façon de machine, l'on peut *encores*... »²⁶.

Dans la suite des publications de livres de machines, les marqueurs permettant au lecteur de repérer début, fin et milieu de série se multiplient. Certains auteurs définissent même des sous-séries, afin de mieux encore les délimiter ; à l'instar de Veranzio qui délimite, grâce à des remarques explicites, des sous-séries liées à la force motrice dans une série globale sur les moulins : « De telles & semblables machines ten desseingérons en ce lieu quelques modelles. » (à propos de moulins à vent), puis plus loin : « Suffise jusques icy des meules portees par les vens quil se traite maintenant de celles qui sont chassees par les eaux. » (fin de sous-série), et encore plus loin : « Et ainsi nous suffise le traitte des roues a eaue » (fin de sous-série), et encore plus loin : « Et suffit de cecy pour les moulins » (fin de série), suivi de « Nous traittrons apresent des Pontz » (début de série)²⁷.

Joseph Boillot est parfois moins rigoureux et systématique, mais il ne manque pas de rappeler qu'il a conscience de penser par série : « Continuant nostre sujet... », « Je représenteray autres façons de plate-forme... », « Puisque nous sommes apres noz instrumens pour... », « Je ne me veux eloigner de cest instrument sans représenter quelques autres effects hors le *commun exercice*. »²⁸. Là encore, c'est toujours « le commun exercice », la fonction générale qui prime dans l'organisation des ouvrages et le passage d'une machine à l'autre.

Par ailleurs, l'intérêt de Boillot pour l'artillerie le conduit à créer des liens logiques entre une série et une autre, et même au sein d'une série ; ce qui amène une partie de l'ouvrage à se rapprocher d'une réduction en art : « Puisque nous avons praticué les

²⁶ Diverses légendes tirées de Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, op. cit.. Nous soulignons.

²⁷ Légendes 15, 20, 29 et 30 de Fausto VERANZIO, *Machinae Novae*, op. cit.

²⁸ Légendes p. 18, 25, 31 et 133 de Joseph BOILLOT, *Modelles artifices de feu et divers instrumes de guerre*, Chaumont en Bassig., Q. Mareschal, 1598. Nous soulignons.

façons des pouldre, il nous faut maintenant avoir l'usage de faire l'artillerie », puis « Apres tant de circonstances & conditions requises [...] se présente certaine façon de mire... », puis « Apres les effects des mires [...] Venons à la charge des pieces... »²⁹. D'une certaine façon, Boillot utilise le mode d'exposition des livres de machines pour exposer non plus ses inventions, mais des instruments et machines nécessaires à l'usage de l'artillerie. Utilisant le même mode d'exposition, il insère dans son ouvrage une réduction en art de l'usage de l'artillerie. Des procédés similaires se retrouvent chez Zonca, avec la description de la filature à soie, ou chez Salomon de Caus avec les mécanismes d'usage d'un orgue hydraulique³⁰.

En dehors de ces cas particuliers de réductions en art insérées dans des théâtres de machines, l'évolution générale du corpus veut que la logique de description de l'existant prenne le pas sur l'exposition de l'invention. Ce glissement, qui vient pervertir la méthode topique, pensée pour favoriser l'invention, au profit d'une autre logique de description de l'existant se renforce dans tous les ouvrages qui suivent (Zonca, Zeising, Caus, Branca), à l'exception du livre de Strada³¹. Nous verrons plus loin ce qu'il en est de ces autres modes d'organisation³², qui ne sont plus « topique », mais il nous faut d'abord préciser les critères de la mise en série.

Mettre en place des séries est une des façons de définir des sujets-types, c'est d'une certaine manière définir l'étiquette de méta-« réservoirs ». Cependant, mettre en évidence que les livres de machines sont organisés en série ne suffit pas pour comprendre ce qui constitue un sujet. En effet, qu'il y ait des séries est une chose, mais il reste à définir le critère qui les constitue : qu'est-ce qui fait série ? Autrement dit : sur quelle caractéristique de la machine repose le réservoir d'idées nécessaire au développement d'une topique ? Plusieurs choses pourraient servir de support à la constitution d'une série : la force motrice (eau, vent...), la ou les fonction(s) générale(s) de la machine (élever l'eau, moudre...), le type de machines (puits, aqueduc, véhicule...), le

²⁹ Légendes p. 99, 117, 127 de *Ibid.*

³⁰ Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes*, *op. cit.* Nous visons ici les problèmes 28 à 34 du premier livre et non le troisième livre qui est explicitement une réduction en art de la fabrique des orgues.

³¹ Le livre des desseins artificieux de Jacob Strada est organisé exactement comme les livres d'inventions précédents, avec des séries non explicitées.

³² Voir *infra* « Du catalogue aux traités », p. 271.

domaine de la machine (militaire, activité manufacturière, grands travaux...), l'usage d'un mécanisme particulier (pompe, vis d'Archimède, bielle-manivelle, etc.), ou même une sorte de persistance d'une composition générale.

Notre base de données peut nous aider à y voir plus clair. Nous avons en effet pu créer des requêtes « de l'un à l'autre ». C'est-à-dire que nous comparons, pour un objet A, le nombre de caractéristiques communes avec l'objet A+1. Cela nous permet par exemple de savoir si une machine qui « élève l'eau » sera suivie d'une machine qui « élève l'eau » aussi, ou par une machine qui a une ou des autre(s) fonction(s). Ces requêtes permettent de repérer des séries, voire des sous-séries, de voir selon quel critère elles se mettent en place, et de déterminer leur importance dans l'organisation de l'ouvrage. Cependant, nous avons toujours tenu à vérifier dans les ouvrages, y compris ceux qui ne sont pas décrits par la base de données, si cela correspondait à une réalité, et procéder à partir de ces résultats chiffrés à des analyses croisées et à une interprétation dont il serait fastidieux de rappeler tous les tenants.

De cette recherche, il apparaît que le critère principal permettant de comprendre la classification générale dans l'ensemble de la collection est la fonction de la machine. Nous observons cependant une certaine évolution. Dans les premiers livres d'inventions, le nombre de fonctions traitées est assez élevé en rapport au nombre de machines présentées : 16 fonctions différentes sont traitées tour à tour par 60 machines pour Jacques Besson, de même pour Jean Errard et pour Veranzio (pour 50 machines). Cette diversité proposée, due à une attention particulière aux machines artisanales³³ et aux instruments scientifiques, conduit les auteurs à proposer de petites séries de quatre à cinq machines similaires. Les machines sont alors regroupées par « domaine » : les instruments mathématiques (dessin, mesure) sont bien séparés des véhicules, qui sont bien séparés des machines artisanales, elles-mêmes bien séparées des machines pour préparer les constructions sur pilotis (purger les boues, planter des pilotes), des machines de constructions (treuils, grues), ou encore des grues portuaires. La fonction apparaissant comme le facteur d'une sous-division des séries.

³³ Les machines artisanales présentent des fonctions très diverses : polir, tourner, filer la laine, etc

Avec Ramelli, la fonction apparaît comme, sinon le seul, du moins le principal critère de classification. En effet 87% des machines de Ramelli ont exactement la même fonction que la machine qui suit³⁴. Cela s'explique par une réduction du nombre de fonctions traitées (11), et une augmentation du nombre de figures (195). Cela conduit mécaniquement à une augmentation de la taille de certaines séries (et donc du taux). Ramelli propose notamment 110 machines à élever les eaux de suite, une série incomparable avec celles présentes dans les ouvrages précédents. Nous retrouvons des séries très cohérentes aussi dans les *Disegni artificiali* de Jacob Strada, qui propose aussi de très nombreuses machines.

Dans les théâtres de machines « pédagogiques », comme ceux de Zonca, Zeising, Caus ou même Branca, la fonction, complétée dans certains cas par le « domaine » d'usage (palais, campagne, atelier, etc), demeure un critère important de classification. Ainsi 41% des 39 machines décrites par Vittorio Zonca ont les mêmes fonctions que la machine qui suit³⁵. Il est difficile de définir le taux exact pour les autres théâtres, mais il doit davantage dépendre du nombre de figures que de la classification, qui, pour l'œil habitué, s'impose.

Chacune des fonctions énumérées (ou parfois des domaines d'usage) constitue un thème sur lequel chaque auteur peut se permettre d'inventer des machines particulières. Nous avons donc des « réservoirs » définis : là où Cicéron plaçait des situations et concepts juridiques, les auteurs substituent la fonction d'une machine, ce qui, finalement, n'a rien de surprenant. En effet, Cicéron fait débiter sa topique par la définition des mots : il faut d'abord définir ce sur quoi s'effectue le travail d'invention des arguments. Or, nous avons vu que les inventions étaient d'abord et avant tout définies par la fonction qu'elles remplissaient. Reste à montrer comment s'organisent les lieux communs, comment se déploie la topique, au sein de ces thèmes, de ces séries.

³⁴ Ce taux était de 40% pour Besson.

³⁵ Zonca traite 11 fonctions, soit un rapport similaire à celui de Besson.

Des topiques différenciées

Le « sujet » défini, les auteurs peuvent déployer une topique de leurs inventions, en explorant, les uns après les autres, différents lieux. Cela leur permet à la fois de mettre en avant leurs inventions, de valoriser leurs compétences, tout en proposant en même temps un réservoir de lieux communs. En invitant les lecteurs à entrer dans leurs secrets mécaniques, ils les invitent à faire une attention particulière aux machines. Si cela se traduit dans l'image et dans les légendes³⁶, cela se traduit aussi dans le passage d'une machine à l'autre. C'est en observant les points communs et les différences d'une machine à l'autre, que nous pouvons mieux comprendre le déploiement des lieux communs dans les livres de machines. Hélène Vérin et Louisa Dolza invitaient déjà à cette attention particulière : « il faudrait voir comment l'ordre de succession des différentes planches contribue à son tour [à exposer l'invention] »³⁷.

Cette analyse n'est pas sans difficultés. La base de données « Machines » peut encore nous aider à démêler certains points, et nous permet d'obtenir des indices ou de confirmer certaines intuitions. Pour cela nous avons effectué trois recherches « de l'un à l'autre » (d'une machine A à une machine A+1). Elles portent respectivement sur les noms des mécanismes des machines (par exemple : engrenage ou bielle-manivelle), sur les fonctions de ces mécanismes (dites aussi « fonctions internes », comme par exemple transformer un mouvement rotatif continu en mouvement linéaire alternatif), et sur les pièces dont sont composés les mécanismes (roue dentée, écrou, vis...). Pour chaque recherche nous avons compté les machines dont la variabilité d'une machine à l'autre était limitée (inférieure à 50%)³⁸, celles qui étaient ressemblantes à la suivante³⁹ et celles qui étaient complètement semblables à la suivante au regard du critère concerné. Ramenant ce compte au nombre de machines présentées dans l'ouvrage⁴⁰, nous

³⁶ Voir *infra* « Chapitre 8 : Le langage de la mécanique : du témoignage au didactique », p. 277.

³⁷ Luisa DOLZA et Hélène VERIN, « Une mise en scène de la technique : les théâtres de machines », *op. cit.* Fin de l'article.

³⁸ C'est-à-dire dont le nombre de mécanismes, de fonctions ou de pièces demeure est identique à 50% et plus d'une machine à l'autre.

³⁹ C'est-à-dire dont le nombre de changement de mécanisme, de fonction ou de pièce ne dépasse pas un de plus et un de moins (soit un ou deux mécanismes, fonctions, pièces qui changent).

⁴⁰ Par exemple, 21 machines de Besson ont un taux de variabilité limitée des mécanismes avec la machine qui les suit. Comme il y a 60 machines dans le livre de Jacques Besson, nous pouvons dire que $21/60 \times 100 = 35\%$ des machines de Besson varient à moins de 50% d'une machines à l'autre. Nous arrondissons toujours à l'entier le plus proche.

pouvons donc donner un pourcentage de machines similaires à 50% ou plus, ressemblantes, ou semblables à la machine suivante. Nous obtenons les trois tableaux suivants⁴¹.

Auteur	Variabilité limitée	Ressemblantes	Semblables	Somme des deux précédents
Besson	35%	10%	10%	20%
Ramelli	53%	16%	9%	25%
Zonca	41%	15%	10%	25%

Tableau 11 : Similarité d'une machine à l'autre selon les éléments/mécanismes

Auteur	Variabilité limitée	Ressemblantes	Semblables	Somme des deux précédents
Besson	38%	3%	12%	15%
Ramelli	55%	11%	5%	16%
Zonca	36%	13%	3%	16%

Tableau 12 : Similarité d'une machine à l'autre selon les fonctions internes

Auteur	Variabilité limitée	Ressemblantes	Semblables	Somme des deux précédents
Besson	30%	0%	7%	7%
Ramelli	62%	8%	9%	17%
Zonca	46%	3%	5%	8%

Tableau 13 : Similarité d'une machine à l'autre selon les pièces

Premier point qui ressort de cette analyse : quelque soit l'auteur, entre un cinquième et un quart des machines est composé des mêmes mécanismes ou presque que la machine qui les suit. En tenant compte des changements radicaux qui interviennent dans le passage d'une série à l'autre, ce constat nous permet d'affirmer que pour un même « sujet », les auteurs reprennent les mécanismes globaux d'une machine à l'autre, peut-être dans d'autres combinaisons. Cela correspond à une sorte de persistance

⁴¹ Ces trois tableaux ont été effectués d'après les requêtes 2, 3 et 4 indiquées dans Annexe 4 : « La base de données « Machines 1.7 » », p. CVI.

rétinienne qui frappe tout lecteur attentif de ces ouvrages. Peu de choses changent d'une machine à l'autre, et comme le dit Ramelli, il faut lire et relire l'ouvrage pour voir où se situe exactement le point de différence, sur lequel le texte, nous le verrons, cherche à amener le regard du lecteur.

Toutefois, dans certains cas, cette recombinaison conduit certains mécanismes à changer de fonction. Par exemple, une bielle-manivelle qui dans une machine A pouvait servir à transformer un mouvement rotatif continu en mouvement linéaire alternatif pourra être combinée de telle manière à ce que dans une machine A+1, la bielle-manivelle serve à transformer le mouvement linéaire alterné en rotatif continu. L'élément est le même, mais la fonction de cet élément a changé. Cela explique que pour 20 à 25% de machines aux éléments ressemblants, seules 15% de ces machines ont des fonctions internes ressemblantes.

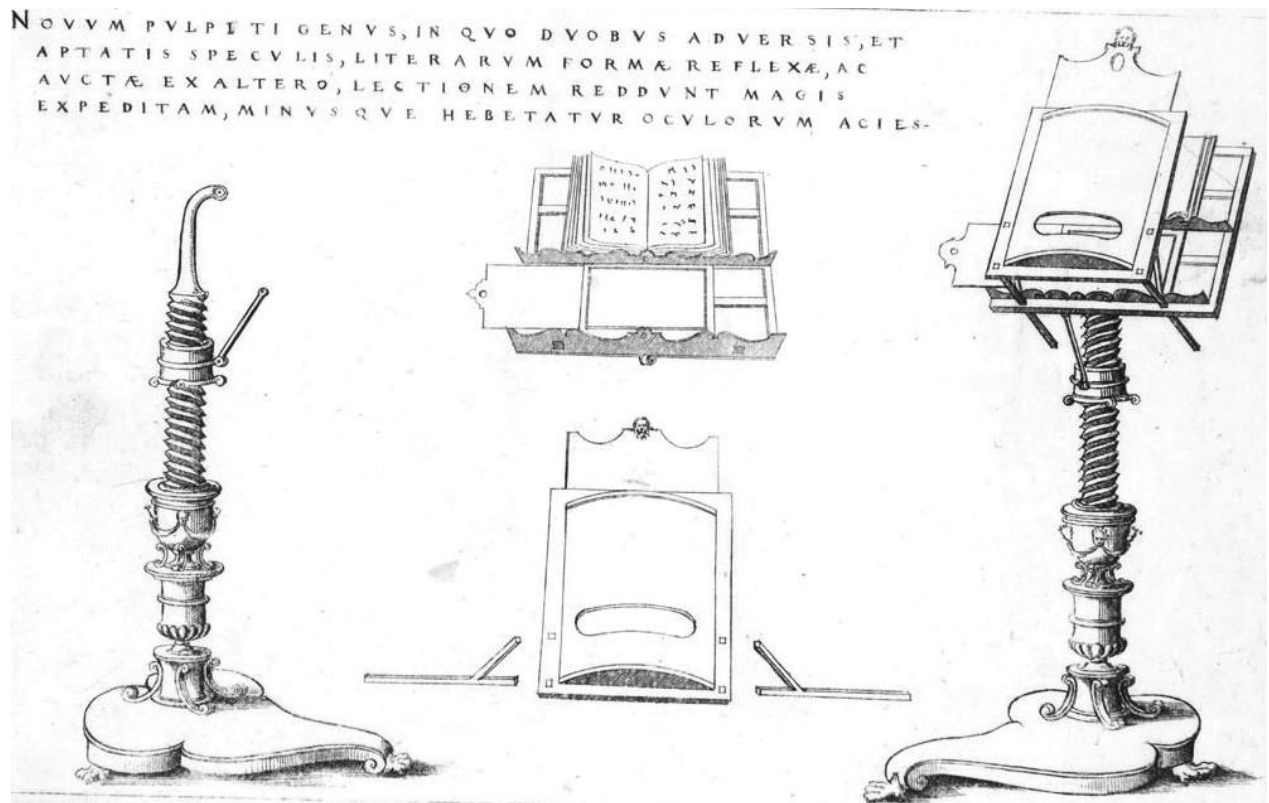
Second point : nous observons une distinction assez nette (du simple au double) entre certains auteurs au niveau de la variabilité des pièces utilisées. Dans le cas de Ramelli, les taux assez élevés signifient que l'auteur favorise la recombinaison des mêmes pièces plutôt que l'insertion ou la suppression de certaines pièces d'une machine à l'autre. Surtout, la proximité du taux de similarité des éléments et des pièces permet d'affirmer que chez Ramelli, un mécanisme est conçu comme un tout, qu'il existe une ou deux formes de bielle-manivelle ou d'engrenages, qu'il réutilise. Au contraire, la grande différence de ces taux chez Besson et Zonca montre que, pour un même mécanisme, les auteurs prévoient différentes formes possibles, à partir de différentes pièces. Par exemple, pour réaliser un engrenage, Besson utilisera dans une machine A deux roues dentées, et dans une machine A+1, une roue dentée avec une lanterne ; alors que Ramelli réutilisera plutôt le même engrenage d'une machine à l'autre.

Cette différence entre les auteurs nous invite à penser qu'il existe différents types de topiques, que les auteurs ont différentes façons d'organiser les lieux de l'invention. Une lecture attentive nous permet de mieux comprendre ces passages, et de là, les processus cognitifs qui sous-tendent l'invention chez certains auteurs. En laissant de côté pour le moment les théâtres de machines tardifs (Zonca, Zeising, Caus, Branca), nous

remarquons deux types de topiques différentes, deux méthodes de présentation des machines.

La topique bessonienne : du genre aux espèces

Le premier type de topique est bien illustré par le livre de Jacques Besson, et particulièrement par son manuscrit. Celui-ci définit quatre « récréations », qui nous fournissent une sorte de mode d'emploi de lecture de son ouvrage. Les deux premières inventions « pour bercer l'esprit » sont en fait deux « espèces de vaisseaux », c'est-à-dire de contenant, dont l'image s'ingénie à nous montrer le mécanisme interne qui lui donne son utilité : éviter à une liqueur de se gâter par contact avec l'air en utilisant un ressort qui vient presser l'outre, et montrer comment un tonneau peut contenir trois liquides différents distribués par un robinet à trois entrées. Nous retrouvons, à travers la métaphore du contenant / contenu, l'idée que l'invention est une chose cachée qu'il faut aller chercher⁴².



⁴² Dans la version imprimée, un instrument de musique apparaît qui pourrait être une seconde « récréation », mais Besson nous en dit peu sur cet instrument.

Figure 18 : Pupitre de Jacques Besson, planche 42 de son *Theatrum instrumentorum et machinarum* (Lyon [Genève], 1578)

Plus intéressant encore est le pupitre de Besson qui constitue la « tierce pause ». Il s'agit de conserver la vue du lecteur en lui proposant un jeu de miroirs, dont l'un concave, sert à grossir et réfléchir les petites lettres d'un livre. Il est intéressant de noter que Besson utilise l'optique pour présenter une machine à lire des livres, et non pour l'astronomie, discipline principale de l'usage d'instruments d'optique et que Besson avait pratiquée avec son *Cosmolabe*.

Cela interroge sur le sens que Besson donne à cette machine. Nous y voyons l'élément central de compréhension de la lecture qui doit être faite de son ouvrage. Il s'agit de porter une attention au détail, de le « grossir ». Ce détail central est en fait la machine simple à la base du fonctionnement de la machine. Si l'attention doit porter sur ce point, c'est parce que c'est ce qui change chez Besson, c'est ce qu'il nous montre en train de changer d'une machine à l'autre. Ainsi, sur le sujet des machines à élever les eaux, qui suivent directement le pupitre, Besson passe d'une machine à l'autre en faisant varier le mécanisme central, le principe de la machine. Le premier puits permet de tirer de l'eau grâce à « deux poulies », le second avec le mouvement d'une « balance », d'autres plus loin, sont élevés par le moyen d'une « signole »⁴³ ou d'un contrepoids. Il y a donc un jeu sur des machines simples, comprises dans un sens plus élargi que celui de l'Antiquité⁴⁴, qui permet de décliner différentes inventions.

⁴³ La « signole », si nous en croyons François Beroald est une sorte de manivelle arrondie. De fait, le principe de cette machine repose sur le principe de la bielle-manivelle, étrangement compliqué par un immense cric.

⁴⁴ Aux traditionnels levier, roue, poulie, plan incliné, coin et vis, Besson ajoute la « signole » (en fait une manivelle) ou le « limaçon » (en fait un plan incliné enroulé une seule fois autour d'un axe, une sorte de vis simplifié).



Figure 19 : Fontaine aéolique de Jacques Besson, planche 51 de son *Theatrum instrumentorum et machinarum* (Lyon [Genève], 1578)

La dernière « récréation » vient justement clore la série sur les machines à élever les eaux. Il s'agit d'une fontaine, déjà décrite par Hélène Vérin⁴⁵. Avec une absence de réalisme particulièrement poussée par rapport au reste de l'ouvrage, l'ingénieur nous propose une fontaine fonctionnant sur le principe des vases communicants. En insistant sur l'abstraction, Jacques Besson rappelle combien chaque machine est d'abord affaire d'idées, de « formes » au sens aristotélicien du terme : de formes qui viennent informer la matière. Bref, par la représentation de sa machine, Besson veut montrer l'acte abstrait d'invention qui en est à l'origine. De plus, la légende nous apprend que la fontaine est perpétuelle, sonore et adossée à la représentation d'une statue désignant un « mouvement céleste », la machine transgresse les deux interdits de la mécanique : le mouvement perpétuel et l'automate. Sans rien montrer de ce qui rend la fontaine, le son ou l'automatisme perpétuel, Besson, ici, ne cherche pas tant à dévoiler l'invention qu'à nous en donner le sens : l'artifice humain est similaire à celui de la nature, autrement dit, l'invention tirée de la raison abstraite humaine est proche du logos divin qui organise le monde. Dieu est à l'origine de l'*ingenium* humain, et, comme l'homme, il a fait cet *ingenium* à l'image du sien.

Besson fait donc une attention particulière aux détails, aux formes de mécanismes centraux dans le fonctionnement de ses inventions. Il décline ainsi plusieurs inventions sur un même sujet en faisant varier la forme d'une balance ou en changeant le mécanisme même de la machine. En reprenant les *Topiques* de Cicéron, nous pouvons y voir l'usage d'un « lieu » particulier : celui du genre et des espèces. La traduction est trompeuse, Cicéron préfère en effet à *species* (qui vient de *specio* : regarder), qu'il estime inusité le mot de « forme » : « Mais j'emploie volontiers formis, formarum », pour lui d'un usage plus commode. Ce que nous explique Cicéron, c'est que d'un même genre, se distinguent plusieurs espèces. Or, chez Besson, d'une même machine générique se distinguent plusieurs formes de machines différentes. D'un tour, Besson nous propose quatre formes, et dès qu'il le peut il précise ce qui fait la forme de sa machine. En résumé,

⁴⁵ En comparant les méthodes de Jacques Besson et Agostino Ramelli, Hélène Vérin avait déjà mentionné des différences entre les méthodes d'expositions de Besson et Ramelli : Hélène VERIN, « Les machines hydrauliques dans les théâtres de machines (XVIe-XVIIe siècles) », *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, 2002, Archives, objets et images des constructions de l'eau du Moyen-Âge à l'ère industrielle, n° 1, pp. 103-119. Nous reprenons ici son point de vue avec lequel nous sommes d'accord et qui nous parfaitement compléter notre propos sur l'organisation du livre de Jacques Besson.

la topique de Besson est une topique de la distinction des formes de machines ayant le même genre.

Nous retrouvons une organisation tout à fait similaire dans le livre de Jean Errard, notamment dans sa série sur les grues et dans celle sur les machines à élever l'eau. Là encore, les légendes nous renseignent sur ce qui change : « autre quasi semblable invention, combien que la *raison* en soit diverse » ; « autre *raison* de moulin » ; « la quatrième machine de mesme *genre* ». Pour ces ingénieurs, c'est donc la raison, autrement dit le principe, en fait le mécanisme central, la machine simple, qui permet l'invention d'une nouvelle machine dans un « genre » donné. Autrement dit, c'est ce mécanisme qui, en étant modifié, détermine l'ensemble du reste de la machine et entraîne sa transformation. C'est à partir de la « raison » dans un « genre » particulier qu'on invente de nouvelles machines : c'est en utilisant le mécanisme de la balance à élever les eaux qu'on invente une machine, c'est en utilisant le mécanisme de la vis qu'on invente une seconde et nouvelle machine du même genre. Dans certains cas, le passage d'une machine à l'autre peut se faire en changeant légèrement la forme du mécanisme central, ou, plus souvent, en gardant la même « raison ».

Les livres d'Isacchi et d'Ambroise Bachot proposent, dans les parties réservées aux inventions mécaniques, le même type d'organisation, quoique de façon un peu moins claire. C'est encore le cas d'un livre d'inventions un peu à part comme celui de Fausto Veranzio. À une différence près toutefois, l'inventeur dalmate ne prend pas comme base de son invention le mécanisme interne de la machine, la machine simple mais son moteur, sa force motrice. Il décline différentes sortes de roues à eau ou à vent, allant parfois jusqu'à ne rien montrer du mécanisme permettant de distribuer la force du moteur à deux meules, l'ayant montré par ailleurs, et le répétant exactement identique d'une machine à l'autre. Ces successions de machines dont le moteur, la « cause » dirait Cicéron, était l'élément principal à partir duquel le reste de la machine était pensé, se trouvaient déjà dans les premiers livres d'inventions, mais dans une bien moindre mesure. Il s'agit toujours de proposer au lecteur une machine « adaptée » à l'environnement dans lequel la machine serait amenée à être fabriquée. Dans tous les cas, la logique est la même : le raisonnement inventif est déductif. Il part d'un mécanisme

central (vis, balance) ou d'un moteur (roue à eau, à vent), pour déployer une nouvelle machine. Tel n'est pas le cas d'autres livres de machines.

La topique ramellienne : de la similitude aux conjugués

Agostino Ramelli inaugure des livres de machines contenant des séries de taille beaucoup plus importante. L'homogénéité de la place qu'occupe la machine dans l'image (centrale et dans une proportion toujours similaire avec le reste de la page), et la proximité des détails dans l'image, jusqu'aux paysages en arrière plan, laissent au lecteur une impression de persistance rétinienne d'une machine à l'autre. Il faut alors à l'auteur trouver le moyen de ramener l'œil vers la machine, ce que font les légendes, avec l'aide de lettres de références. Ce que font aussi quelques images qui sortent de cet ordinaire. Nous en dénombrons trois, qui toutes les trois mettent en scène des personnages qui ne participent pas à, ni n'observent, l'activité de la machine. Passons rapidement sur la fontaine du chapitre 187. Petite fontaine d'intérieur, dans laquelle des oiseaux « chantent », grâce à l'action d'une personne cachée derrière un mur, elle rappelle encore cette idée du secret découvert et du rôle de l'homme, qui derrière son mur, fait fonctionner les inventions.

La seconde image représente une fontaine là encore (chapitre 65, voir Figure 20 : p. 249)⁴⁶. Les mécanismes en eux-mêmes sont à l'intérieur d'un bâtiment, à la façade extrêmement décorée et baroque, comme c'est rarement le cas dans les autres machines de Ramelli. Deux personnages discutent, sans aucune attention pour la machine, de même qu'un personnage entre dans le bâtiment. Mais l'image introduit un intervalle, brouille les pistes. Le bâtiment semble n'avoir pas de plancher, et les étages de façade semblent faux, de même que la porte ne permet d'entrer dans aucune pièce. Dans ce cadre, il semble que les personnages ne soient présents que pour ajouter un surcroît de vie à l'image, car ce qui est à voir n'est pas là. Ce que veut montrer l'ingénieur italien, ce sont la roue à eau en forme de turbine, des engrenages divers, la pompe et l'eau. Or, contrairement aux autres machines du livre, Ramelli ne donne pas de vue ouverte et générale sur la machine et tous ses mécanismes, il découpe l'image, il isole et encadre

⁴⁶ Cette image est aussi étudiée par H. Vérin : *Ibid.*

les différentes parties dans des « fenêtres ». Ce sont ces mêmes mécanismes, finalement assez simples, qu'il réutilise plusieurs fois dans bien d'autres machines, mais pour d'autres effets. Il isole les mécanismes, les étapes, comme les pièces détachables d'un puzzle qu'il recombine différemment à chaque machine.

Une idée que nous retrouvons dans une troisième image (Figure 21 : p. 250). Là aussi, comme chez Besson, il s'agit d'un pupitre à lire. L'image représente un homme barbu, à l'étude, dans une bibliothèque privée, fermée d'une porte à trois verrous. L'homme pourrait très bien être Ramelli lui-même si nous en croyons son portrait en frontispice de l'ouvrage, et nous sommes ici dans un cabinet, la partie la plus privée d'une maison. En un mot, nous sommes au cœur des secrets de l'ingénieur, au cœur de ce qui, d'après tous les discours liminaires, lui donne une légitimité supérieure aux autres artistes : l'étude. Or, ici, point de pupitre grossissant, mais une roue à livres, qui permet, une fois disposés huit livres sur différents pupitres de les comparer les uns aux autres. L'ingéniosité de la machine réside dans le fait que, grâce à un jeu d'engrenages⁴⁷, le lecteur peut faire tourner la roue sans faire verser les livres. Ce qui est mis ici en scène est la comparaison entre différentes sources d'informations. Le lecteur représenté peut travailler sur différents livres à la fois, et piocher dans chacun les idées nécessaires à une nouvelle invention.

⁴⁷ Selon Ladislao Reti, l'organisation de ces engrenages devait à un manuscrit de Léonard de Vinci. C'est en effet probable, mais Vinci n'utilise pas cet engrenage pour une roue à livres, et cela n'enlève rien

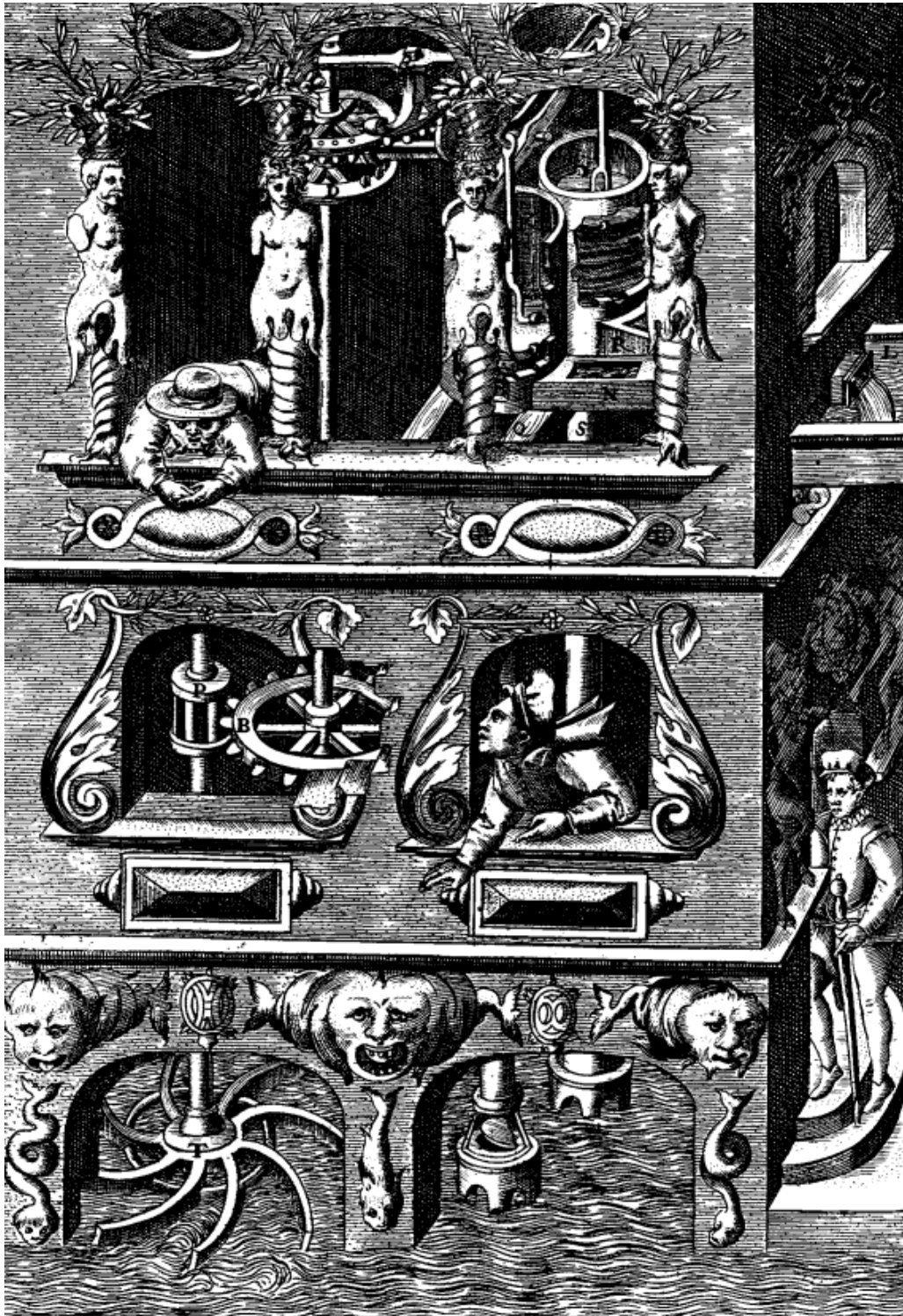


Figure 20 : Pompe d'Agostino Ramelli, illustration du chapitre 42 de son *Diverse et artificiose machine* (Paris, 1588)

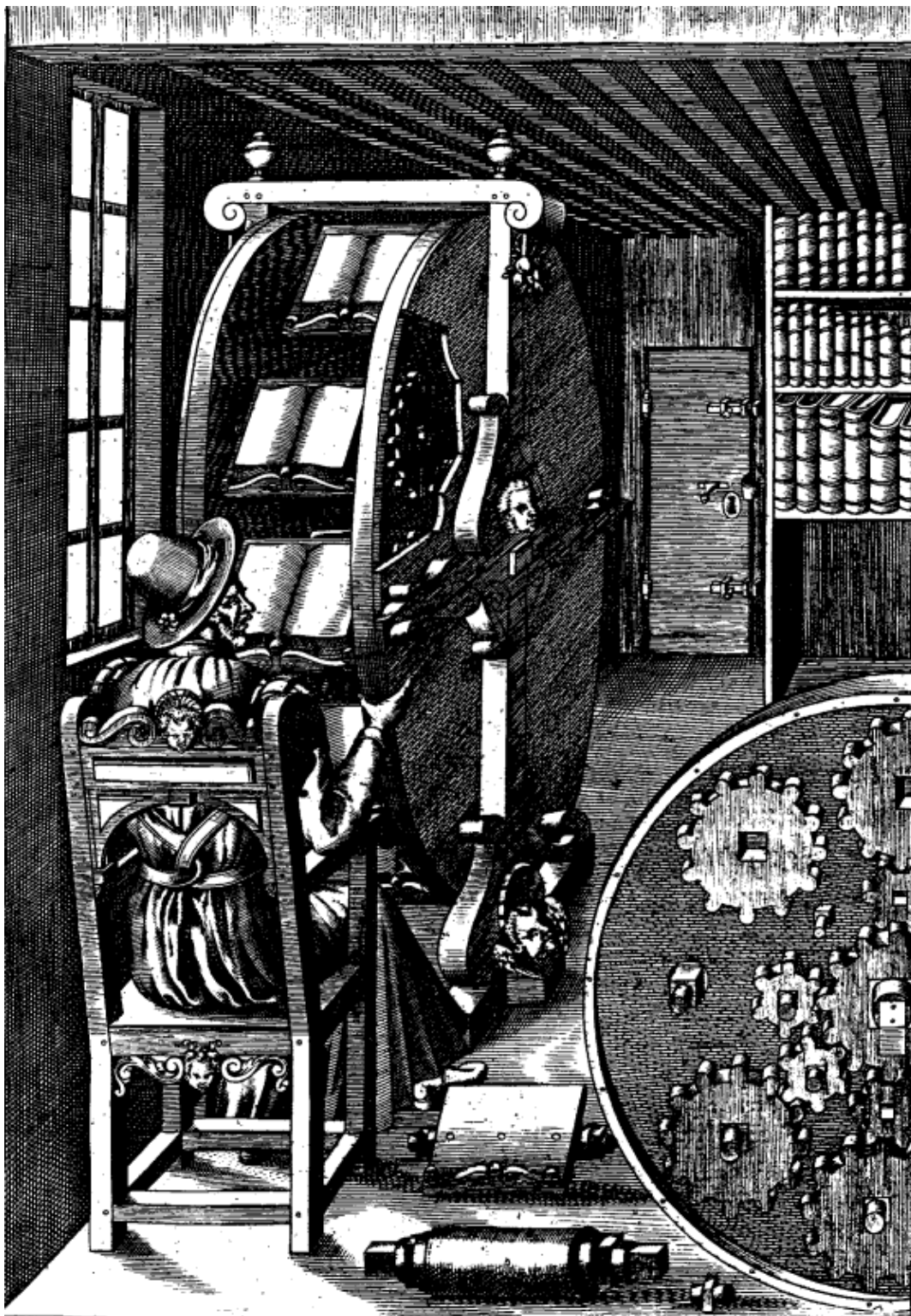


Figure 21 : Roue à livres d'Agostino Ramelli, illustration du chapitre 188 du *Diverse et artificiose machine* (Paris, 1588)

Cicéron, dans ses *Topiques*, mentionne un « lieu » qui fonctionne de cette façon, qu'il appelle les similitudes. Il explique qu'il existe plusieurs types de similitudes, dont l'une qui permet « de partir de plusieurs points pour vous conduire où elle veut »⁴⁸. Mais ce sont les exemples qu'il emploie qui permettent de mieux comprendre ce qu'est une similitude selon lui. Deux exemples nous semblent particulièrement bien correspondre au processus cognitif d'invention de Ramelli. Le premier est celui de la définition qu'Aquilius, un juriste réputé, qui définissait les choses par similitude, ainsi de l'adolescence qu'il appelait « fleur de l'âge », ou le rivage désigné comme « l'endroit où les flots viennent à se jouer ». Cette méthode n'est pas sans rappeler celles des *concetti* de la Renaissance, où il s'agit de faire d'une image un concept. Une figure de style qu'Hélène Vérin rapproche justement du mode d'exposition de Ramelli. Cicéron donne un second exemple d'une « invention » d'argument fondé sur la similitude : il compare une maison à un esclave, dont on aurait cédé l'usufruit à une personne, et explique que tout comme si l'esclave venait à mourir, l'héritier (le propriétaire donc) n'aurait pas à remplacer l'esclave, il n'aurait pas à réparer la maison dont il a laissé l'usufruit à une autre personne. En bref, dans les deux cas, le fondement de la similitude est de prendre la caractéristique de l'un pour la donner à l'autre.

Or, dans la succession des machines que Ramelli nous propose, c'est exactement ce que nous observons. D'une machine A, il garde une caractéristique pour la placer sur une machine différente A+1. Par exemple, la première machine représente un château d'eau⁴⁹, avec deux pompes actionnées par une roue à eau et un système de vis sans fin, actionnant une tige-écrou, entaillée, qui permet d'actionner les pistons. La seconde machine fonctionne exactement selon le même principe, mais pour un puits actionné manuellement par un travailleur. Puis, la troisième machine, un château d'eau qui fonctionne par un système vis-écrou où les écrous mobiles sont bien ronds et ne sont plus sous forme de tige, mais fonctionnant toujours avec le même système de transformation du mouvement rotatif continu en mouvement rotatif alternatif que les deux premières machines (à savoir une roue semi-dentée sur une lanterne). La quatrième machine est un

⁴⁸ CICÉRON, « Les Topiques », *op. cit.*, chapitre X.

⁴⁹ Je distingue : le château d'eau qui représente une machine qui élève l'eau dans un réservoir en hauteur qui le redistribue par une conduite qui descend dans le sol ; le puits, qui élève l'eau jusqu'à la surface où elle est récupérée un récipient, seau ou fontaine ; et l'aqueduc qui élève l'eau et la redistribue dans un conduit de faible déclivité.

aqueduc qui reprend exactement le même fonctionnement que la troisième machine, mais avec une roue à eau à axe horizontal et non vertical (ce qui l'oblige à ajouter un mécanisme d'angle). Nous pourrions continuer par le couple suivant qui décline le système de la bielle-manivelle sur aqueduc, puis sur un puits ; cette fois-ci, c'est la roue à eau identique de la machine 4 à la machine 5 qui fait le lien entre les deux « miniséries ». Là où Besson se focalisait sur le mécanisme central au sein d'un genre, Ramelli insiste sur la pluralité de moyens similaires pour des effets différents. Il joue pour cela sur la similitude des machines, empruntant à la première pour placer sur la seconde, et ne changeant qu'un unique mécanisme de l'une à l'autre.

Nous pouvons même observer une certaine logique dans les modifications que Ramelli fait subir à ses machines, en repérant de nombreuses sous-séries. Ainsi, dans une grande série définie par la fonction, il propose une première sous-série définie par la partie instrumentale, puis une autre sous-série définie par un système de transmission particulier, et enfin par le moteur. Un système à tiroir : Fonction > instrument > mécanisme principal de transmission/machine simple > moteur :

```

Machines à élever l'eau
  Pompes aspirantes-foulantes
    Système à vis-sans-fin
      Roue à eau verticale
      Manivelle
    Système à vis-écrou
      Roue à eau horizontale
      Roue à eau verticale
    Système à vis-sans-fin et bielle-manivelle
      Roue à eau verticale
      Manivelle
    Système avec roue semi-dentée
    Système avec balanciers
  Pompes rotatives et autres pompes
  Norias
  Vis d'archimède
  Chaînes de seaux
  Balanciers à la Turiano
Machines à assécher les marais
Moulins, scies etc

```

Figure 22 : Logique de succession des machines dans *Le diverse et artificiose machine* d'Agostino Ramelli (Paris, 1588)

Par ailleurs, rien ne permet de hiérarchiser les mécanismes comme chez Besson. Les légendes de Ramelli ne mentionnent pas une « cause », un « principe » qui définirait une espèce de pompe par rapport à une autre. Au contraire utilise-t-il un vocabulaire très générique, parlant d'autre « façon », d'autre « machine » et décrivant tous les mécanismes du moteur à la partie instrumentale :

« Ceste cy est une sorte de machine, par laquelle [...] l'on peut faire monter l'eau [...] avec l'ayde dudict fleuve, lequel faisant tourner la rouë denotée par A, qui contient en escieu deux autres petites rouës dentées l'une au contraire de l'autre, fait avec icelles tourner tantost d'un costé, & tantost de l'autre la lanterne signée B, au dessus de laquelle est enté un arbre, qui a sur soy deux vis taillées, l'une au contraire de l'autre, lesquelles tournans (comme dict est cy dessus) font hausser & abaisser les deux barres CD, qui sont taillées d'un costé en escrouë... »⁵⁰

Cette méthode de description, généralisée dans l'ouvrage de Ramelli ; les auteurs de la DMD l'appellent « chemin cinématique » (« kinematic path »). Il s'agit de donner à voir non pas une cause principale de l'invention, mais comment la conduite ordonnée d'une force par des mécanismes combinés permet d'obtenir tel ou tel effet. Un effet entendu ici sous l'angle de la cinématique, et très peu sous l'angle de la force, du « travail » mécanique effectivement dégagé. Il s'agit, sur la feuille, de montrer l'ingéniosité de l'auteur à combiner différents mécanismes. L'utilisation du chemin cinématique lisse les légendes, et supprime toute hiérarchie dans les mécanismes : il n'y a pas de « raison » centrale, tous les mécanismes se valent. La valeur des mécanismes n'apparaît donc que dans la succession des chapitres (image+légende) et dans les changements opérés d'une machine à l'autre. Changements qui nécessitent, pour être détectés, une lecture attentive de l'image, que Ramelli favorise en guidant le regard sur la machine et son fonctionnement cinématique⁵¹.

Ce système de déclinaison fait penser à un autre « lieu », que Cicéron lui-même donne comme proche de la similitude, à savoir les « conjugués ». Pour le rhétoricien romain, les conjugués désignent « les mots qui sont de la même famille [...] qui, sortis d'une racine commune, ont subi diverses modifications ». C'est exactement le système de Ramelli. Il « conjugue » les machines, à partir des similitudes dans les moteurs et les

⁵⁰ Chapitre 1 de Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, op. cit.

⁵¹ Cette façon de montrer l'invention dans la succession des machines a aussi été repérée dans Hélène VERIN, « Les machines hydrauliques dans les théâtres de machines (XVIe-XVIIe siècles) », op. cit.

mécanismes. Cela nécessite obligatoirement de plus grandes séries qui ont le mérite de montrer l'étendue de l'ingéniosité de l'auteur, mais qui l'obligent en contrepartie à réaliser de nombreuses planches.

Cette topique particulière des conjugués par similitude est aussi présente dans les images des *Desseins artificieux* de Jacob Strada, quoique de façon moins évidente du fait de choix esthétiques plus divers. Le choix dans l'ordonnancement des machines, réalisé par Octave Strada n'est pas toujours aussi net que chez Ramelli, mais il correspond à cette idée d'une topique des conjugués. D'ailleurs, le choix du chemin cinématique pour décrire les machines est général dans les légendes allemandes du Strada.

Quelle que soit la méthode topique utilisée, les objectifs demeurent cependant les mêmes. Il s'agit de focaliser le regard sur ce qui fait invention, et en modifiant certains paramètres, encourager le lecteur à faire de même. Dans les deux cas en effet, le passage d'une machine à l'autre n'est ni le lieu d'une rupture, ni l'illustration du passage d'un théorème à l'autre comme cela aurait pu être le cas sur un traité. Il s'agit de modifier quelques mécanismes ou quelques contraintes et d'adapter la machine en fonction⁵². Les deux topiques laissent ainsi un espace permettant l'invention de quelque chose de nouveau, tout en fournissant un cadre qui limite l'innovation, et l'empêche de transgresser l'ordre établi. Elles donnent du jeu à l'esprit du lecteur, au sens mécanique du terme, pour lui permettre de bien se mouvoir. Cette façon de pensée explique d'ailleurs l'usage généralisé de l'emprunt, au cœur même de la logique topique. Proposant des séries selon la fonction de la machine et montrant comment inventer à l'intérieur de ces séries, de ces « lieux communs », l'auteur appelle le lecteur à inventer de même sur les « lieux » les moins développés, sur les machines les moins conjuguées. Cependant, les choses sont moins évidentes pour les théâtres de machines ultérieurs, et notamment les ouvrages de Vittorio Zonca, Heinrich Zeising et Salomon de Caus, dont les objectifs sont différents. Mais avant d'explorer ces derniers plus avant, il nous faut préciser la source de ces topiques : sur quels lieux communs se fondent-elles ?

⁵² D'une certaine manière, cette démarche est proche de la méthode expérimentale appelée à se développer au XVII^e siècle. Dans un système mécanique donné, les auteurs modifient un paramètre et imaginent l'évolution du système mécanique (la machine) en fonction.

Les lieux communs de l'invention à la Renaissance

Aboutissement dans la forme du théâtre de machines comme traité, l'œuvre de Jacob Leupold n'en demeure pas moins tributaire, nous le verrons, du corpus de machines développé dans cette fin de Renaissance. La remarquable longévité de ces livres de machines interroge alors sur leur contenu même, sur les machines décrites. L'historiographie s'est beaucoup focalisée sur ce point, et a notamment fait des théâtres de machines des lieux de transmission d'un savoir développé au Moyen Âge⁵³. Qu'il y ait eu des emprunts, c'est chose certaine, et même normale, à partir du moment où nous resituons l'invention renaissante dans son contexte de pensée topique. Cependant, c'est calquer une vision diffusionniste des techniques sur une réalité un peu plus complexe. Les auteurs de théâtres de machines, s'ils ont repris des thèmes, des machines et des éléments dans d'autres ouvrages ou dans la réalité qui les entouraient, visaient moins à les faire connaître qu'à s'en servir comme support de conceptions originales. C'est le sens même de la topique inventive.

Cette vision diffusionniste cache donc un processus inventif que nous avons cherché à rétablir. Plus encore, elle cache d'autres questions, techniques, sur l'efficacité de ces livres à fournir au lecteur et donc à de potentiels concepteurs et constructeurs de machines des outils techniques fiables. Il ne s'agit pas de savoir si elles ont ou n'ont pas existé, si ces machines sont particulièrement efficaces au regard d'un critère objectif de rendement, mais simplement de savoir si elles répondent à l'utilité qu'on leur donne, si la solution proposée peut être réutilisée pour d'autres inventions. Les machines en elles-mêmes ne sont que supports permettant de développer des solutions mécaniques, des lieux à partir desquels développer une méthode topique d'invention. C'est l'origine de ces lieux que nous aimerions étudier ici. Aussi, nous nous garderons de tout jugement sur leur efficacité réelle.

Le témoignage antique : limiter l'impact du spectaculaire

Si l'historiographie a beaucoup insisté sur l'aspect ludique ou parfois inefficace des machines, rares ont été les historiens qui ont montré la marginalité de toute machine

⁵³ Voir introduction p. 9 et suivantes.

extraordinaire dans les théâtres de machines. Grues, treuils, pompes, scies, tours et ponts constituent l'immense majorité des machines présentées. Cela traduit une volonté claire de limiter l'imaginaire technique à ce qui est jugé directement utile, voire possible. Dans le même temps, les livres d'inventions doivent permettre de montrer la puissance de l'*ingenium* des auteurs. Cette dialectique entre sobriété des machines présentées et nécessité de sortir de l'ordinaire a conduit à l'émergence de certains lieux communs permettant, dans le cadre rassurant de machines connues de montrer l'ingéniosité des auteurs.

Le cas de la machine d'Archimède à tirer un bateau de terre en mer d'une seule main est très intéressant. Décrite dans la vie de Marcellus par Plutarque, cette anecdote fait référence dans la culture des ingénieurs de la Renaissance. Elle est décrite une première fois par Jacques Besson (Figure 17 : p. 187). Celui-ci propose, à partir d'un bateau, d'utiliser un ensemble composé de systèmes de vis sans fin. C'est-à-dire qu'une manivelle permet de tourner une vis, qui engrène une roue, qui elle-même engrène une seconde vis qui engrène une seconde roue dont l'axe est un treuil permettant de tirer le bateau de terre en mer. La démultiplication des forces permet en effet de tirer un très lourd poids. Cependant, le côté spectaculaire de la machine est neutralisé par la référence explicite à Archimède et à l'autorité qu'il représente. L'inventeur ne se pose pas comme une personne rompant avec l'ordre technique existant, mais dans la continuité et la recherche d'un ordre technique perdu. Ce spectaculaire était légitime car il avait existé, et il avait même été à l'origine du statut d'Archimède auprès de Hiéron de Syracuse. Jean Errard, qui s'inspire fortement du *Livre premier* de Besson, décrit lui aussi la machine d'Archimède (Figure 16 : p. 177 et Figure 17 : p. 187). Le mécanisme de transmission dans le livre est exactement le même, à trois différences près : la structure se décline verticalement, quand elle est horizontale chez Besson, l'axe de la seconde roue est un essieu qui permet à un véhicule portant le bateau de l'amener en mer, et il est actionné non par une manivelle, mais par une courroie. La courroie est sans doute plus conforme au récit de Plutarque, mais ce qui est intéressant, c'est que les deux inventeurs cherchent à respecter un même principe : celui de la vis sans fin⁵⁴. Le texte de Plutarque mentionne

⁵⁴ PLUTARQUE, « Tome 5 : Vie de Marcellus », in *Vie des hommes illustres*, traduit par D. RICARD, Paris, Bibliothèque des

pourtant un jeu de poulie (un moufle, un palan) plutôt que la vis sans fin, mais ce récit semblait courant à la Renaissance. Ainsi, le récit antique et l'autorité qu'il comporte servent à rendre une machine spectaculaire crédible. Elle devient même un lieu de l'invention, un exercice auquel tout ingénieur soucieux de montrer son *ingegnum* devrait se plier.

Une autre machine d'Archimède, permettant de soulever un navire et le rejeter en mer, est encore décrite par Jean Errard, utilisant la vis sans fin et un contrepoids. Dans le livre de Jacques Besson, deux machines permettant de soulever des bateaux sont décrites, l'une avec des vis sans fin et une balance, l'autre avec une succession de balance et l'aide de contrepoids. Cependant, le dauphinois, dans la version imprimée ne mentionne pas Archimède, il parle même d'« artifice » ou de « fabrique jusques icy incogne »⁵⁵. Doit-on y voir une façon de rompre avec le code éthique des ingénieurs⁵⁵ ? Le manuscrit nous renseigne. Concernant la seconde des deux machines, celle fonctionnant avec le contrepoids, le ton est tout autre : « Artifice qu'on peut appeler Archimédique pour [...] les raccourter ». L'origine du mécanisme (usage d'un contrepoids sur une grue) est en effet d'Archimède⁵⁶, mais la fonction est différente : il ne s'agit plus d'une machine de guerre, mais d'une machine civile servant à retirer les bateaux hors de mer pour les entretenir. C'est en cela que réside la nouveauté, le côté inconnu, et non dans le fonctionnement de la machine. Si la mention d'Archimède neutralise l'aspect par trop spectaculaire dans le manuscrit, son absence permet de déplacer l'invention dans un autre contexte et de la rendre plus utile à l'économie civile⁵⁷.

Les solutions proposées, et notamment les systèmes à vis-sans-fin, sont sans doute lentes, comme le ferait remarquer Salomon de Caus, où comme le dit Besson lui-même

arts et des lettres, 1830 : « Archimède ayant fait tirer à terre, avec un grand travail, et à force de bras, une des galères du roi, ordonna qu'on y mît la charge ordinaire, avec autant d'hommes qu'elle en pourrait contenir; ensuite, s'étant assis à quelque distance, sans employer d'effort, en tirant doucement de la main le bout d'une machine à plusieurs poulies, il ramène à lui la galère ».

⁵⁵ Voir *infra* « Chapitre 6 : Mettre en place des codes communs », p. 202.

⁵⁶ PLUTARQUE, « Tome 5 : Vie de Marcellus », *op. cit.* : « il avait placé sur les murailles d'autres machines qui, abaissant tout à coup sur les galères de grosses antennes en forme de crocs, et cramponnant les vaisseaux, les enlevaient par la force du contrepoids, les laissaient retomber ensuite »

⁵⁷ Jacques Besson est semble-t-il très sensible à ce que ses machines ne servent pas à la guerre. Contrairement aux autres auteurs de livres d'inventions (Errard, Bachot, Boillot ou Ramelli), il ne décrit aucune machines de guerre.

en parlant de « tardivité de la vis » dans son manuscrit. Cependant, elles permettent de répondre à la contrainte fixée par le témoignage antique : tirer un bateau avec une seule main, ou soulever un bateau entièrement chargé. L'aspect spectaculaire de ces machines est accepté parce qu'un témoignage prouve que de telles machines ont été construites, et sont donc possibles. Le lieu d'invention ne devient tel que parce qu'il est avéré. Et il est en effet réutilisé. Ne donnons qu'un seul exemple : les treuils de Ramelli fonctionnent sur le même système de combinaison vis-sans-fin que la machine décrite par Besson. L'invention réside ici dans le changement de contexte : Ramelli ne se fonde plus sur l'expérience d'Archimède, mais reprend la solution mécanique pour répondre à un besoin du temps : le déplacement des monolithes antiques.

Réduire l'imaginaire technique à l'utilité

Le déplacement de monolithes par seulement quelques hommes à l'aide d'une machine est aussi un effet spectaculaire, mais l'existence même des monolithes prouve la possibilité de les déplacer et de les ériger. Par ailleurs, les années 1580 sont marquées par le déplacement, en 1586, sous l'égide de Domenico Fontana, de l'obélisque de Saint-Pierre-de-Rome. Ce mouvement s'inscrit de façon plus générale dans une volonté de remettre en valeur le patrimoine romain de l'antiquité depuis la fin du XV^e siècle. Un mouvement dont nous trouvons déjà des témoignages dans le livre de Besson, qui présente une machine pour élever un monolithe, ou dont la version imprimée représente un treuil tirant un lourd chapiteau d'un chantier. L'autre manière de légitimer le spectaculaire des machines est donc de l'ancrer dans une utilité réelle pour les mécènes potentiels. La même logique qui pousse les auteurs à proposer des automates, des fontaines musicales, voire des rôtissoires, comme dans le *Novo Teatro* de Vittorio Zonca ou dans les *Desseins artificieux* de Jacob Strada, dont on sait qu'elles étaient en usage dans certaines grandes cuisines du XVI^e siècle.

Cependant, la très grande majorité des machines du corpus visent à répondre aux grands besoins de la période : l'adduction en eau des villes, la meunerie, la construction (grues et machines élévatoire), l'industrie artisanale (tours), voire le franchissement des cours d'eau. Dans cet ensemble, quelques lieux communs particuliers font saillies, permettant à chaque inventeur de prouver son ingéniosité. Ainsi des moufles pour

soulever les canons et des différents moyens et treuils pour le transporter ; ainsi de la fabrique de vis en bois de plus en plus usitées. La plupart de ces lieux communs sont déjà traités dans la littérature manuscrite de la fin du Moyen Âge, leur ré-usage témoigne, s'il en était encore besoin, de la large circulation des dessins mécaniques dans les cercles d'inventeurs du XVI^e siècle⁵⁸.

Le cas des machines pour lutter contre le feu est dans ce cadre particulièrement intéressant, en ce qu'il révèle une autre source que les manuscrits médiévaux ou les récits antiques. Dans le manuscrit de Jacques Besson, deux machines sont présentées sur la même page : la première fonctionne avec un système vis-écrou, la vis étant fixe et l'écrou se déplaçant, appuyant sur un réservoir d'eau dont l'embout conique envoie un jet. Cette machine est reprise dans la version imprimée. La seconde machine est à main, et permet, à l'aide d'un système de sautoir très simplifié de pousser l'eau d'un réservoir dans un embout conique. Chez Heinrich Zeising, deux machines obéissant à la même fonction sont décrites, et ce sont les seules de tous les *Theatri* à être de l'invention de l'auteur. Le système utilisé est simple, il s'agit de jouer sur un effet de levier pour pomper l'eau d'un réservoir et la renvoyer dans un étroit tuyau à l'aide de pompes aspirantes-refoulantes. Cette machine ne se trouve pas ailleurs dans la littérature mécanique antérieure. Il ne s'agit pas d'un lieu commun déjà établi. Pour autant, il ne s'agit pas non plus d'une innovation. Salomon de Caus nous l'explique en décrivant un autre type de pompe à feu (problème 20) : « Ceste machine est fort experimentee en Alemaigne & ay veu le grand & prompt secours qu'elle peut apporter ». La machine était déjà existante. Son utilité a fait que certains inventeurs s'en sont emparés, la créant en tant que lieu possible de l'invention.

⁵⁸ Nous avons mis en évidence plusieurs cas et plusieurs logiques d'emprunt dans notre master (Benjamin RAVIER, « Le discours technique dans les théâtres de machines (1572-1629) », *op. cit.*). Notons simplement une erreur : le rôtissoire de Zonca (p.92 du master) doit moins à Léonard de Vinci qu'aux célèbres *Opera dell'arte del cucinare* de Bartolomeo Scappi, publié à Venise en 1570.

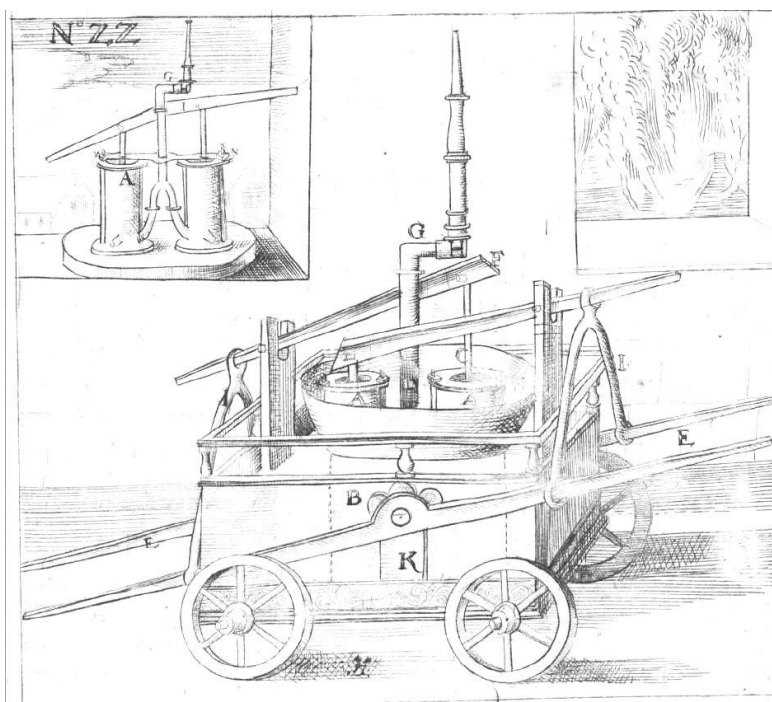
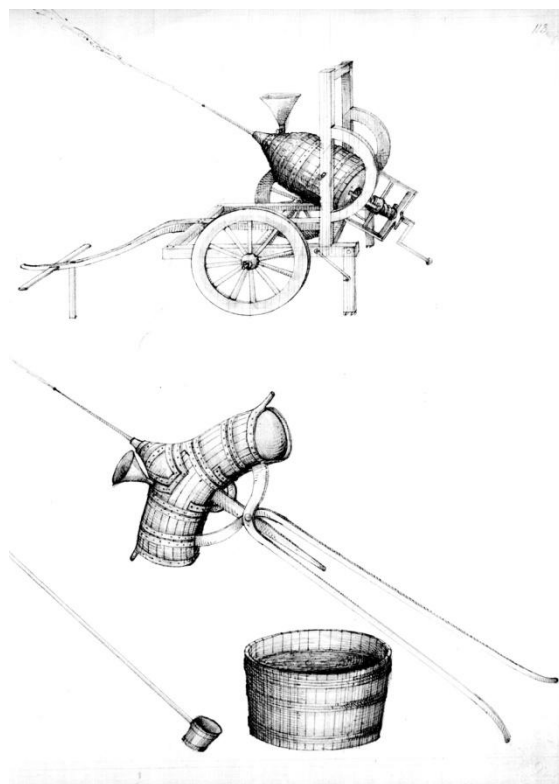


Figure 23 : Extincteur de Jacques Besson, version manuscrite de son *Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques* (vers 1570) ; et Pompe à feu de Heinrich Zeising, *Theatrum machinarum ander theill* (Leipzig, 1612), figure 22.

Quand aucun témoignage ne peut être apporté de l'existence de certaines machines, notamment quand il s'agit de permettre une fonction impossible autrement, le lieu n'est pas créé, la machine jugée impossible n'est pas pensée comme un lieu d'invention. Cela se traduit par un abandon de toutes les « rêveries » mécaniques de la fin du XV^e siècle. Non seulement le mouvement perpétuel, mais surtout les instruments pour respirer sous l'eau, ou se déplacer sur l'eau tel qu'on en trouve dans le livre du Taccola, de chars automobiles à vents comme en montre Kyaser ou même Valturin, ou encore de machines volantes⁵⁹. Ainsi, contrairement aux idées reçues, l'imaginaire des auteurs de théâtres de machines est singulièrement plus réduit que celui des auteurs des manuscrits médiévaux. Seules les machines jugées utiles à l'économie sont reconnues comme des lieux légitimes d'inventions⁶⁰.

La nouveauté dans les théâtres de machines

Cela pose la question de la nouveauté, mais d'une façon différente de celle de l'historiographie habituelle. Il ne s'agit pas de replacer les inventions de l'un ou l'autre des théâtres de machines dans une histoire des inventions, mais de savoir comment les auteurs gèrent, intègrent ou récusent la nouveauté, dans un monde où l'innovation, c'est-à-dire la conception consciente de la nouveauté, n'est pas acceptée. Deux exemples, tirés du livre de Giovanni Branca, nous permettent de mieux comprendre cet usage de la nouveauté, notamment dans les moteurs : la vis d'Archimède et la machine à vapeur. La vis d'Archimède est un moyen élévatoire bien connu, et la plupart des auteurs du corpus en montrent le fonctionnement, selon deux « espèces » : dans la première, il s'agit d'une hélice enfermée dans un cylindre, dans le second cas, il s'agit d'un tuyau enroulé autour d'un axe. Le principe est le même : il faut placer la « vis » penchée environ à 45° avec une extrémité dans l'eau et l'autre à la hauteur où on souhaite que l'eau soit élevée. L'eau tombe sur le plan incliné de la « vis » montant ainsi de pas de « vis » en pas

⁵⁹ Mariano TACCOLA, *De Ingeineis*, Manuscrit, 1430 ; Mariano TACCOLA, *De Machinis*, Manuscrit, 1430 ; Conrad KYESER, *Bellifortis*, Manuscrit, 1405 ; Robert VALTURIN, *De Re Militari*, Manuscrit, 1466 ; Francesco di Giorgio MARTINI, *Trattati di architettura ingegneria*, Manuscrit, 1484 ; Léonard de VINCI, *Manuscripts*. Nous trouvons chez Ramelli des catapultes mues par des manivelles et des systèmes de vis sans fin et dans le livre de Veranzio un « Homo volans » qui reproduit le parachute de Léonard de Vinci.

⁶⁰ Une telle idée avait déjà été émise dans A. Rupert HALL, « Engineering and the Scientific Revolution », *T&C*, Autumn 1961, vol. 2, n° 4, pp. 333-341..

de « vis » quand elle tourne contre le sens de l'eau. Giovanni Branca montre une telle vis dans la figure cinq de la seconde partie des *Machine* (Figure 24 : ci-dessous). Cependant, il montre aussi une autre vis hydraulique figures 16 (voir Figure 25 : ci-dessous à gauche), 19 et 20 qui fonctionne exactement sur le principe inverse. C'est-à-dire que, selon Branca, en faisant couler de l'eau dans une vis à double pas par le haut, la vis se met à tourner, devenant non un instrument élévatoire, mais un moteur. Les machines ainsi présentées sont deux moulins à farine et un rouet. C'est-à-dire deux lieux communs assez classiques de l'invention. Intégrée dans un lieu connu (la meule) et réutilisant, en la détournant, un instrument commun (la vis d'Archimède), la nouveauté présentée par Branca s'inscrit dans la logique topique de pensée. D'une certaine manière, cette nouvelle vis motrice est une troisième « espèce » de vis d'Archimède, utilisée dans des lieux communs de l'invention mécanique : le moulin et la machine textile. En suivant la même logique, il transforme la chaîne de seau et la chaîne de piston en moteur dans les figures 17 et 32.

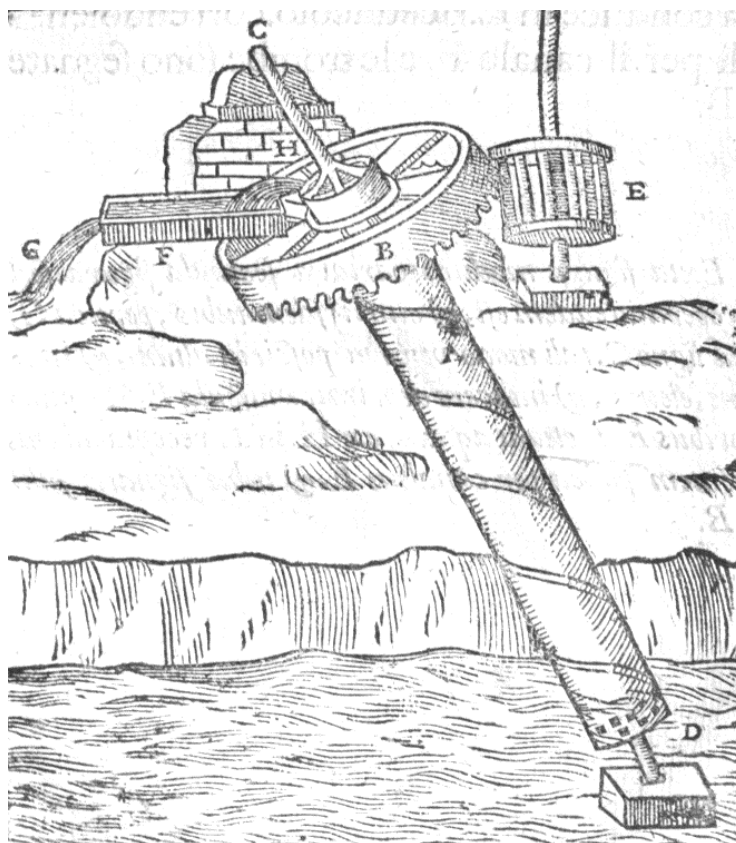


Figure 24 : Vis d'Archimède classique. Livre 2, figure V de G. Branca, *Le Machine* (Rome, 1629). Le moteur n'est pas représenté.

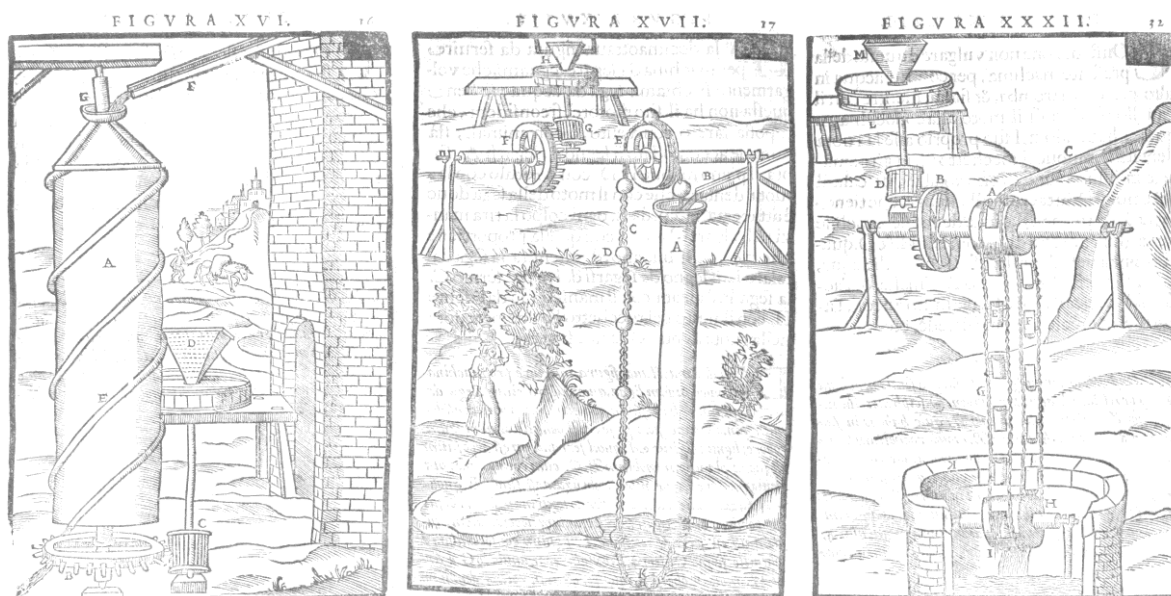


Figure 25 : Moyens d'élever l'eau détournés et utilisés comme moteur pour des meules.
Figure 16, 17 et 32 de Giovanni Branca, *Le Machine* (Rome, 1629)

L'usage de la vapeur comme moteur chez Giovanni Branca en a fait, dans la plupart des histoires d'inventions un précurseur de la machine à vapeur, avec Salomon de Caus. Dans le cas des *Machine*, la logique est cependant similaire à celle décrite plus haut, et il ne s'agit en aucun cas de l'invention d'un nouveau type de machine. Dans la figure 25, il présente une marmite coiffée d'un couvercle en forme de tête de Maure et dont la vapeur s'échappe par un tuyau. Cette forme de marmite était déjà en usage au XV^e siècle⁶¹. L'idée de Branca est de placer une roue à augets horizontale à l'embout de la marmite. Entraînée par la vapeur comme elle le serait par un courant, la roue permet d'entraîner une machine (ici un pilon). Cela n'a rien à voir avec l'idée des machines à vapeur, qui permettent de donner un mouvement linéaire alterné en jouant sur la pression interne de la vapeur d'eau⁶². En revanche, l'invention est le fruit d'une topique des conjugués poussée particulièrement loin (combinaison d'une marmite existante et d'un moulin à eau), présentée dans un lieu commun habituel : le pilon.

⁶¹ Paolo GALLUZZI, *Les Ingénieurs de la Renaissance*, op. cit. ; Benjamin RAVIER, « Le discours technique dans les théâtres de machines (1572-1629) », op. cit.

⁶² L'usage de la vapeur par Salomon de Caus joue en effet sur la pression exercée par la vapeur pour faire monter de l'eau, mais dans un système fermé. Nous sommes encore loin de l'usage de la vapeur comme moteur.

Cette perception de la nouveauté prouve que là n'est pas le centre des intérêts des auteurs, ni de leurs ouvrages. Ils visent davantage à permettre de mémoriser des combinaisons mécaniques et des espèces d'éléments. Moins que la nouveauté, c'est donc l'étendue du vocabulaire mécanique utilisé qui importe.

L'étendue du vocabulaire technique

Par vocabulaire mécanique, nous entendons un ensemble de machines, de mécanismes ou de pièces obéissant à une ou plusieurs fonctions. Par exemple, si un auteur, pour élever de l'eau, utilise toujours une pompe aspirante-foulante, nous pouvons affirmer qu'il utilise, sur ce point, un vocabulaire moins étendu que celui qui utilise parfois la pompe, parfois la noria, d'autres fois la chaîne de seaux. Il est extrêmement difficile de rendre compte, dans l'absolu, de l'étendue d'un vocabulaire mécanique, car cela supposerait de posséder une liste exhaustive des possibilités mécaniques pour une fonction donnée. Or aucune liste exhaustive, pas même dans les livres de Hachette ou de Reuleaux au XIX^e siècle n'existe. En revanche, il est tout à fait possible de réaliser des études relatives, en relevant les différentes possibilités mécaniques d'un corpus et de comparer chaque auteur à ce corpus. La DMD nous aide dans ce travail, en recensant 131 machines (« *Device* »), 119 pièces (« *Machine Parts* », par exemple une roue à eau, ou une chaîne de seaux), et 39 mécanismes-types (« *Gearing and drive combinations* », par exemple un engrenage vis/roue dentée). En comparant le nombre de machines, mécanismes ou pièces utilisés au moins une fois dans l'œuvre d'un auteur, nous pouvons donc déterminer un taux de connaissance du vocabulaire mécanique disponible pendant la période (Tableau 14 : p. 265 et Tableau 15 : p. 266).

Le premier tableau nous rappelle combien la tradition des théâtres de machines est plus proche d'une littérature manuscrite des ingénieurs que de la littérature imprimée. Le corpus dans son ensemble présente en effet un grand nombre de machines différentes, et fait usage de presque tous les mécanismes et pièces connues à l'époque.

Le second tableau permet cependant de nuancer ce constat. La première série, à gauche, montre que le nombre de machines utilisées par auteur est similaire à celui du reste de la littérature imprimée, il y a un effet d'accumulation des cas particuliers qui tronquent la lecture des résultats. Cela, en revanche, confirme ce que nous savions déjà :

la réduction de l'imaginaire technique conduit inévitablement à une baisse globale du nombre de types de machines présentés par auteur. Par ailleurs, nous observons une baisse tendancielle au fur et à mesure que les théâtres de machines acquièrent une dimension davantage théorique et pédagogique. Les deux autre séries sont plus difficiles à interpréter puisqu'aucune réelle tendance historique ne se fait jour. Tout au plus peut-on voir la domination d'un Ramelli qui utilise plus de 70% des pièces disponibles et plus de 65% des mécanismes. C'est le résultat d'une topique des conjugués particulièrement rigoureuse, mais qui nécessite 195 chapitres. Plus modestes, les autres théâtres de machines⁶³ sont nécessairement moins divers. Pour autant, la taille de l'ouvrage n'est pas directement corrélée au taux de connaissance du vocabulaire mécanique ; celui-ci dépend aussi de sa culture mécanique. Par exemple, Veranzio est un amateur, et cela se traduit par une méconnaissance de certains mécanismes et donc des taux d'utilisation plus faible. En bref, ce qui ressort de ces deux tableaux, c'est que les théâtres de machines innove peu en ce qui concerne le vocabulaire mécanique dans sa globalité, mais utilise, de façon différenciée, celui à sa disposition.

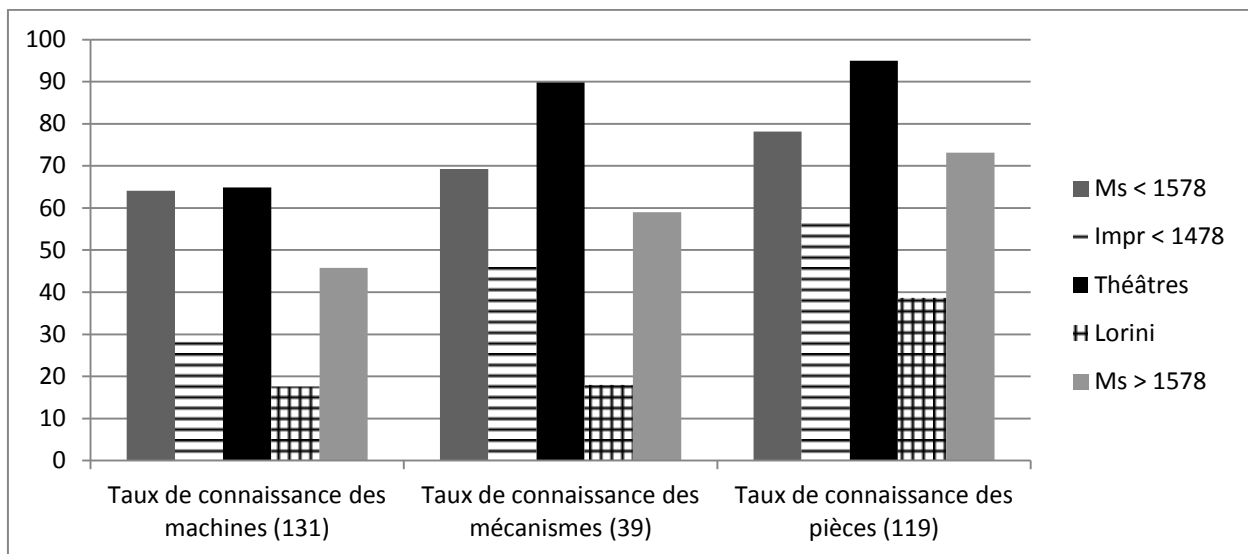


Tableau 14 : Taux de connaissance du vocabulaire mécanique dans la littérature mécanique d'après la DMD

⁶³ Caus présente une vingtaine de machines différentes (avec différents points de vue), Errard et Zonca une quarantaine, Veranzio une cinquantaine, Besson une soixantaine et Branca environ 80. Hors de la DMD, seuls Heinrich Zeising et Jacob Strada dépassent les 100 machines présentées.

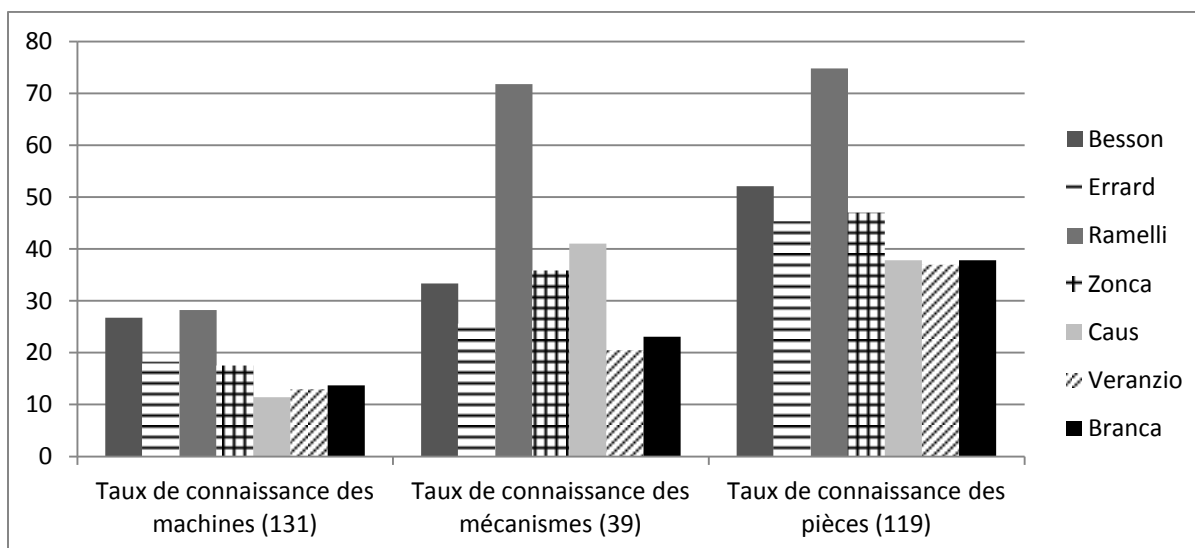


Tableau 15 : Taux de connaissance du vocabulaire mécanique dans les théâtres de machines d'après la DMD

En revanche, ces chiffres cachent ce que la topique fait subir aux différentes pièces et mécanismes. L'originalité des auteurs des premiers livres d'inventions n'est pas tant de montrer de nouveaux types de pièces que d'adapter ceux-ci à différents types de machines ou pour leur faire remplir différentes fonctions. En utilisant notre propre base de données, nous avons compté non pas le nombre d'éléments par auteur, mais le nombre d'éléments utilisés pour chaque fonction par auteur. Par exemple, pour transformer un mouvement rotatif continu en mouvement linéaire alterné, il existe cinq moyens différents utilisés par Besson, Ramelli ou Zonca : la bielle-manivelle, un engrenage lanterne/barre dentée⁶⁴, un arbre à cames, une balance placée sur un plan incliné, ou un chemin de roulement placé lui-aussi sur un plan incliné⁶⁵ (voir Figure 26 : ci-dessous, dans le même ordre). Seul la bielle-manivelle et l'arbre à came (a et c), mécanismes « classiques » pour cette fonction, sont utilisés par Vittorio Zonca, Besson et Ramelli proposant les autres mécanismes, en adaptant leur forme. Cette diversité de l'usage des mécanismes dans des situations très diversifiées se traduit aussi dans une adaptation, voire parfois une

⁶⁴ Avec sa variante roue dentée/échelle (l'échelle étant une lanterne « verticale » : visible aussi dans Salomon de Caus, problème 16 et 17.

⁶⁵ Je ne prends pas en compte les combinaisons de mécanismes qui permettent de transformer d'abord un mouvement rotatif continu en mouvement rotatif alterné, puis un mouvement rotatif alterné en mouvement linéaire alterné, comme c'est aussi souvent le cas avec l'usage de roues semi-dentées. Nous précisons que tout ce paragraphe est rédigé avec l'aide de requête dans la base de données « Machines 1.7 », qui permet d'accélérer l'analyse du corpus. Voir Annexe 4 : « La base de données « Machines 1.7 » », p. LV.

volonté de modification des pièces des machines. Ainsi, nous obtenons un taux d'utilisation du vocabulaire mécanique différent : 51% pour Besson, 74% pour Ramelli et seulement 34 % pour Zonca, qui utilise certes autant de mécanismes que Besson, mais uniquement dans les contextes habituels. Comme celui de Vittorio Zonca, les livres de Salomon de Caus et Heinrich Zeising (voire Giovanni Branca) semblent moins obéir à une topique à vue inventive qu'à une mise en ordre des machines qui réutilisent les codes des livres de machines antérieurs.

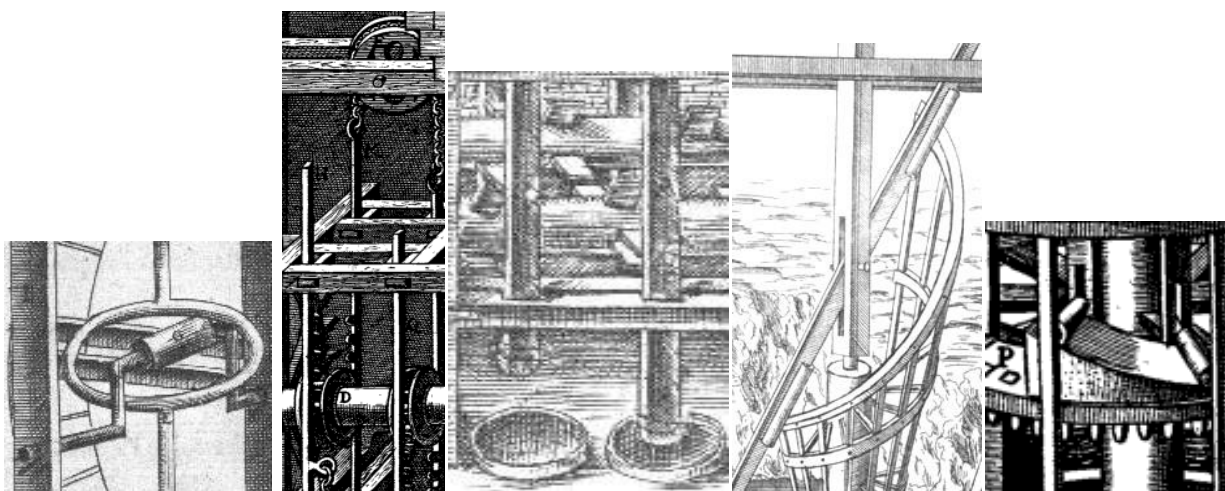


Figure 26 : Moyens de transformer un mouvement rotatif continu en mouvement linéaire alternatif

Du catalogue aux traités

Les théâtres de machines de cette seconde période visent donc moins l'invention qu'une certaine mise en ordre des savoirs mécaniques. Les commentateurs n'ont plus pour mission de faire valoir leur *ingenium*, mais d'offrir au public une connaissance organisée. Héritant d'une abondante iconographie qui constitue justement le cœur de cette connaissance, ils optent pour une organisation de ces images afin de faire ressortir ce qui leur paraît important. Sur ce point, nous observons en réalité deux mouvements qui se mélangent. Le premier est sans doute ce qui se rapproche le plus d'une réduction en art de la conception de machines autour des fonctions et des mécanismes, le second tend à scientifier la conception mécanique en introduisant des connaissances théoriques plus nombreuses.

Le catalogue de Vittorio Zonca

Le *Novo teatro di macchine et edificii* de Vittorio Zonca, édité de façon posthume en 1607 illustre parfaitement le premier mouvement. Nouveau, l'ouvrage ne l'est pas que dans l'ordre de publication, il l'est aussi dans sa conception. L'éditeur Pietro Bertelli publie en effet un travail de recherche qui ne s'est pas fait par l'étude des mathématiques, ni même par l'expérimentation, mais dans le relevé de machines existantes. Comme l'exprime si bien Alexander Keller : « Zonca fut le premier à utiliser ces livres d'inventions mécaniques pour explorer le monde réel, pour représenter l'atelier tel qu'il existait plus que pour l'imagination de l'inventeur »⁶⁶. Ces visites dans les ateliers se focalisaient d'abord et avant tout sur les machines utilisées⁶⁷, décrites avec beaucoup de détails, tant visuellement que textuellement. Nous devons ainsi à l'auteur une des premières descriptions des machines à filer la soie qui ont fait la richesse et la réputation du Nord de l'Italie au Moyen Âge. Il est difficile de savoir ce qui motivait exactement Vittorio Zonca, puisqu'il est mort avant de pouvoir nous l'expliquer. Quant à Bertelli, il ne rédige aucune introduction, tout juste une dédicace dans laquelle il glorifie l'art de fabriquer des machines comme étant celui dans lequel se voit le mieux l'*ingenium*⁶⁸. Gageons cependant que son objectif était proche de celui des réductions en art : mettre par écrit un savoir épars et favoriser la diffusion des inventions et des « bonnes pratiques ».

L'organisation de l'ouvrage permet en tous les cas de répondre en partie à cet objectif. Il obéit à première vue à la mise en série des ouvrages précédents : aux 3 premières machines sur le transport des charges lourdes, Zonca fait suivre une écluse, puis 6 moulins à grains, 3 meules à aiguiser, un fouloir et 3 presses et pressoirs, etc. Mais si la mise en série demeure évidente, il est rare que l'auteur la mentionne, et laisse penser qu'une machine succède à une précédente dans un ordre sensé. Ce substrat d'une organisation topique doit sans doute plus à la nécessité de trier les planches qu'à une

⁶⁶ Alexander Gustav KELLER, « Review: sur Zonca et Poni, 1985 », *T&C*, Avril 1988, vol. 29, n° 2, pp. 285-287. Texte original : "Zonca was the first to use these books of mechanical inventions to explore the world of the actual, to picture the workshop as it existed rather than the inventor's fantasy."

⁶⁷ Il suffit par exemple de comparer les planches 36 et 39 du livre de Zonca avec la première planche de « coutelier » de l'*Encyclopédie*, pour se rendre compte que là où Diderot insiste sur le « coup de main », Zonca focalise la vue sur la machine.

⁶⁸ Vittorio ZONCA, *Novo teatro di machine*, op. cit.. Texte original : "s'io diro, che l'arte del fabricar Machine sie nel supremo, in cui più ch'in ogn'altro si scorga l'acutezza dell'ingegno humano, credo di non dir cosa dalla commune credenze lontana."

volonté de montrer un chemin de l'invention. Il est par ailleurs complètement court-circuité par l'introduction d'une table des matières en début d'ouvrage, qui permet un référencement de l'ordre de l'index, en faisant le choix regarder une machine en particulier sans passer de l'une à l'autre dans une succession choisie par l'auteur.

C'est ce qui fait de l'ouvrage de Zonca un ouvrage organisé en catalogue. Le but du catalogue est de constituer une base pour favoriser la connaissance des machines existantes. Il n'y a plus le besoin de faire lire l'ouvrage dans un ordre précis. Au contraire, les grands lieux communs qui constituaient les séries dans les livres précédents se délitent, au profit d'une liste de machines artisanales situées dans l'espace. Les rares traces de division d'un genre de machines en espèce ne viennent pas tant annoncer une organisation que mentionner la possibilité de variantes. Ainsi dans un même « chapitre » (p. 22 du *Novo Teatro*), Zonca présente les trois « espèces » du « genre » de moulin à alimentation par-dessus⁶⁹. Le vocabulaire de la topique cicéronienne est repris, certes, mais pour un usage différent, il ne s'agit plus de trouver des lieux pour « inventer », mais de proposer au lecteur des possibilités mécaniques parmi lesquelles il aura à choisir.

Le mode d'exposition des théâtres de machines est repris, sans doute pour des raisons à la fois d'efficacité économique (le genre littéraire a fait ses preuves) que d'efficacité pédagogique (voir chapitre suivant sur l'apport pédagogique du mode d'exposition des théâtres de machines). Cependant, perdant l'usage réel d'une topique organisée, et suite à la mise en place d'autres outils de référencement, le livre de Zonca glisse vers le catalogue de machines. Un catalogue organisé certes, qui permet d'en apprendre sur la mécanique, comme on en apprendrait d'un dictionnaire, mais un ouvrage qui n'est pas fait pour favoriser l'invention.

Vers des traités de mécanique

Poursuivant un objectif tout autant pédagogique, les ouvrages de Heinrich Zeising, Salomon de Caus et, dans une moindre mesure, Giovanni Branca, esquissent une autre possibilité : les traités. Quel que soit le dictionnaire retenu, le traité se définit par sa

⁶⁹ *Ibid.*, p. 22. Texte original : "Molini fatti col moto di acque raccolte. / Dissi nella dichiarazione del passato Molino dividersi nel suo genere in tre specie."

cohérence, son organisation, qui doit être méthodique et raisonnée, et ajoutons-nous, explicite. La différence avec les livres d'inventions ne réside pas tant dans la présence d'un plan que dans la mise en évidence des critères objectifs sur lesquels il repose. Or ceux-ci n'ont plus pour objectif de déployer visuellement l'inventivité d'un auteur, mais d'organiser les connaissances mécaniques et d'aider le lecteur à bien saisir les principes des machines. D'ailleurs, mis à part Salomon de Caus, aucun des « auteurs » de livres de machines publié après 1600 n'est un inventeur. Le genre, et sans doute les livres de Besson et Ramelli au premier plan, a eu un tel succès qu'il est devenu la référence incontournable pour toute publication portant sur un corpus plus ou moins étendu de machines.

Dans ce cadre, si les textes et les images subissent plusieurs modifications, l'organisation générale des ouvrages est aussi raisonnée. Il y a d'abord l'introduction, en début d'ouvrage, d'importantes introductions aux principes de la *statique* et au fonctionnement des machines simples chez Zeising et, dans une moindre mesure, chez Salomon de Caus. Cette mise en ordre se repère aussi dans la succession des tomes et, dans les tomes des machines. Dans tous, les cas, quoique selon des modalités différentes, nous repérons en effet une succession explicitée, parfois dans le titre même des ouvrages, et fondée sur des définitions préalables des machines et de leur principes.

Chez Heinrich Zeising, le premier tome est assez théorique, et applique à différentes machines simples (levier, roue -dont treuil et poulie-, vis-écrou) les principes de la statique. Le fait que chacune des machines soit dérivée de tel ou tel « principe » est expliqué au début de chaque légende, et toutes les machines représentées dans ce premier tome sont liées au déplacement de lourdes charges. Le second tome est dédié aux machines à élever les eaux et reprend les différents instruments pour ce faire (noria, pompe, chaînes de seau, chadouf, vis d'Archimède). Le troisième tome est de la même façon dédié aux moulins et machines artisanales (le moulin étant compris comme moteur, il est considéré comme le « principe » central de ce tome). Le quatrième tome est celui des presses, tours et autres machines (notamment de levage) fonctionnant à partir de systèmes de vis ou d'engrenages. Le cinquième tome est dédié aux fontaines, et

intègrent les puits de Ramelli, qui n'étaient pas décrits dans le second tome⁷⁰. Le sixième et dernier tome reprend différentes machines des livres antérieurs qui ne trouvaient pas leur place dans les précédents tomes. Ainsi de la roue à livre de Ramelli et du pupitre de Besson ; ainsi des rôtissoires de Zonca ; ainsi des ponts mobiles de Ramelli. L'ordre est ici celui de la fonction, c'est-à-dire l'ordre minimal.

Force est de constater que dans chaque tome, et pas seulement dans le dernier, la succession des machines, l'organisation interne paraît moins raisonnée que dans les ouvrages antérieurs. Dans le passage d'une machine à l'autre, ayant le même principe, nous ne repérons ni la variance élevée d'un Besson, ni celle plus discrète et étalée d'un Ramelli. Ce constat assez déroutant s'explique en réalité par la conception nouvelle du théâtre de machines comme traité. Ce qui compte, c'est la grande division en différents tomes, avec une organisation théorique. À l'intérieur de chaque tome, la logique du catalogue prend le dessus. Zeising décrit des machines qui ne sont pas de lui, il les trie selon quelques grandes catégories, mais la succession des machines ne fait plus sens en elle-même, aussi peut-on dire qu'il empile les machines davantage qu'il ne les met dans un ordre déterminé. L'ordre étant placé à un niveau supérieur.

Un constat similaire peut-être fait du livre de Giovanni Branca. Dans *Le machine*, l'architecte distingue en effet trois grandes parties. La première, la plus conséquente, contient 40 machines très variées et sans ordre particulier. Citons simplement, pour nous en convaincre le fait qu'une première machine à planter les pilots obliques est présentée sur la figure III quand une seconde à les planter droit est présentée sur la figure XXXV. Et si la fonction n'est plus un critère de classification, elle n'est pas remplacée par une autre : les moteurs ou les machines simples aussi varient sans ordre d'une machines à l'autre. En revanche, Branca distingue bien cette première partie des deux autres. La seconde est en effet dédiée aux machines à élever l'eau par des moyens mécaniques (levier, bielle-manivelle, vis d'Archimède), quand la troisième partie est réservée aux machines « spirituelles », pour reprendre l'expression d'Héron d'Alexandrie, à savoir les fontaines fonctionnant selon le principe des vases communicants et de la pression des fluides.

⁷⁰ L'ouvrage de Ramelli ne devient une source pour les *Theatri* édités par Henning Grosse qu'à partir du troisième tome. Les deux premiers tomes n'empruntent leur machines qu'aux ouvrages de Vitruve (traduction de Rivius), Besson et Zonca.

Les choses ne sont pas aussi simples dans l'œuvre de Salomon de Caus, mais la succession des machines souffre là encore de lacunes dans la cohérence. Dans les *Raisons des forces mouvantes* (1615), quatre définitions et dix-huit théorèmes précèdent une série de descriptions de machines (les « problèmes »). Caus explique lui-même le principe de succession des trois premières images : « je monstrey trois moyens pour se servir à eslever l'eau par ceste machine » (à savoir la pompe). Notons que le quatrième « problème » est simplement un plan de la machine décrite dans le troisième problème. Par la suite, une seconde série s'ouvre sur des machines « spirituelles ». Le passage d'une série à l'autre est même réalisé en douceur, puisque la première de ces machines sert aussi à élever les eaux. Au sein de cette série pourtant, la succession des machines joue sur différents points : alternativement la fonction de la machine et un des mécanismes de la machine. Ainsi après la machine à élever les eaux, Caus présente une machine permettant de réguler l'ouverture et la fermeture de canaux en fonction du remplissage et du vidage d'un seau. Le même mécanisme est utilisé sur une horloge, puis une seconde horloge à eau est présentée. De là, nous passons à trois automates présentés sur la même planche, fonctionnant par le principe des vases communicants. Une troisième série, toujours dans les machines « spirituelles » s'appuie sur la dilatation de l'eau sous l'effet de la chaleur. Cependant, après ces séries cohérentes, la succession semble moins ordonnée. Ainsi de la machine au problème XVI : « J'ay enseigné par cy devant, aux trois premiers Problemes, le moyen d'eslever l'eau par le moyen des Pompes, & pour donner quelques varietez des desseings, j'ay encores mis cestuy-cy ». Cette nouvelle pompe ouvre une série de machines qui semblent obéir à quelques lieux communs très précis, comme une scie, une machine à « percer des pipes de bois », une pompe à incendie et un tour à ovales. Ces machines, variations sur certains thèmes abordés dans les livres de machines précédents apparaissent comme autant de réponses personnelles de Salomon de Caus. N'oublions pas que malgré une volonté pédagogique forte, l'ingénieur se doit aussi, dans le cas des *Raisons des forces mouvantes*, de montrer son *ingenium*. À partir du problème XVIII, les machines sont toutes destinées à alimenter le plaisir de certains princes : automates et orgues forment ainsi la fin de ce premier livre.

Les Raisons des forces mouvantes témoignent ainsi d'une tentative inaboutie d'ordonnancement lié aux instruments et principes fondamentaux utilisés dans les

machines. Comme chez Besson, il s'agit de montrer quelques possibilités de ces mécanismes. Pour autant, l'ouvrage est bien plus didactique, mais cet aspect apparaît principalement dans les principes généraux donnés en début d'ouvrages et dans les légendes des machines. Celles-ci, chez Caus, comme chez Zeising ou Zonca, donnent de nombreuses informations sur les machines, qui étaient absentes des livres précédents. Elles sont d'ailleurs à mettre en regard avec une évolution des modes de représentation qui permettent d'attirer davantage le regard du lecteur sur les aspects à la fois conceptuels et matériels des machines. C'est sans doute dans cet enrichissement du langage, tant textuel que graphique, que se situe l'évolution majeure du corpus, et la véritable transformation des livres d'inventions en catalogues et traités cohérents.

Chapitre 8 : Le langage de la mécanique : du témoignage au didactique

Giambattista Vico opposait « topique » et « critique » ; la critique étant cette méthode de penser déductive et cartésienne qui avait cours à l'université et qui selon lui devait être complétée par un retour de la topique comme moyen de trouver des arguments juridiques ou philosophiques. Concernant l'invention mécanique, cette installation de la « critique » se produit justement en cette fin de Renaissance : d'un mode topique, développé par Besson, et surtout par Ramelli, la conception de machines prend, après la publication du livre de Zonca, un tournant pédagogique, il devient le lieu et le moment d'un calcul. Ce nouveau mode ne vient pas remplacer la topique dans la présentation, mais vient la compléter, et par là en transforme le sens. Là où les premiers livres d'inventions avaient comme vocation de stimuler un *ingenium*, les seconds proposaient un savoir cohérent à disposition d'un public moins spécialisé. En faisant cela, ils transformaient la topique en catalogue, faisant des machines présentées autant d'exemples pour comprendre une théorie *statique*, autant d'applications possibles et vérifiées. Ce glissement est non seulement visible dans l'organisation interne des ouvrages, mais aussi, et peut-être surtout, dans les images et les textes eux-mêmes, dans leurs relations, et enfin dans les choix techniques présentés. Il nous faut donc caractériser ces évolutions dans les modes d'exposition des machines pour mieux comprendre les modalités de transformation de ce genre littéraire au fur et à mesure que ses acteurs prétendent améliorer leurs aspects pédagogiques.

Montrer la machine

Dans tous les livres de machines, quelque soit leur statut particulier, les images sont au centre du dispositif. Dans les livres d'inventions de Besson ou de Jean Errard, les légendes des machines sont réduites au strict minimum et la figure tient lieu de présentation de la machine. Puis, quand le texte prend une place plus importante, les auteurs rappellent l'importance du dessin dans la compréhension de la machine. Ainsi

Ramelli, dès la description de sa première machine, renvoie le lecteur à l'analyse de l'image : « et cela se faict (ainsi qu'il appert par le dessein)... »¹. Plus encore, chez certains auteurs, comme chez Joseph Boillot, la présence de la figure dispense l'auteur d'explications détaillées : « La figure vous enseigne assez la façon »².

Pour autant, ces représentations déroutent le lecteur contemporain. Alors qu'à la même période les traités d'architecture proposent de nombreux plans et schémas à côté d'élévations, que les mathématiciens schématisent les machines pour faciliter la compréhension des principes statiques à leur base, les auteurs des théâtres de machines s'ingénient à représenter les machines en perspective, le plus souvent mises en scène. L'historiographie a parfois attribué ce réalisme des scènes et des représentations à une volonté commerciale ou courtisane. Il se serait agi de séduire le lecteur. Cette explication n'est pas entièrement fausse. Il est même facile de repérer un certain style esthétique propre à chaque auteur. La comparaison du manuscrit et de la version imprimée du livre de Besson montre à quel point le passage de l'un à l'autre se fait aussi par des effets de style. Prenons un seul exemple parmi tant d'autres, celui du moulin de la planche 27 (Figure 30 : p. 284). Il représente un moulin en coupe, avec le moteur actionné par deux hommes, avec plusieurs hommes qui montent des sacs de grains en hauteur vers la meule, pendant qu'un meunier récupère la farine et la met dans un autre sac. La version manuscrite (dessin 30) ne développe pas une telle scène, mais simplement un meunier qui actionne la meule.

Cette transformation marque bien la volonté de plaire, d'ajouter à la « simple » technique, un aspect grandiose, qui accentue l'effet de la machine et donc la puissance de l'ingénieur. De même Ramelli présente toujours ses machines de guerre, et notamment ses ponts mobiles, dans de grandes fresques militaires. Nous trouvons chez Jacob Strada un grand travail sur le mouvement des travailleurs, avec un très beau jeu sur les drapés. Chez certains auteurs cependant, nous observons une baisse tendancielle des effets de style et de la représentation en détails de l'environnement, comme chez Joseph Boillot ou chez Fausto Veranzio. Il n'en demeure pas moins que

¹ Chapitre 1 de Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, op. cit.

² Joseph BOILLOT, *Modèles artifices de feu*, op. cit., p. 75. Les remarques de ce type sont très nombreuses chez Joseph Boillot.

même les ouvrages les plus « théoriques », comme celui de Salomon de Caus, représentent des automates dans leurs grottes en rocailles, et toutes les machines en perspective.

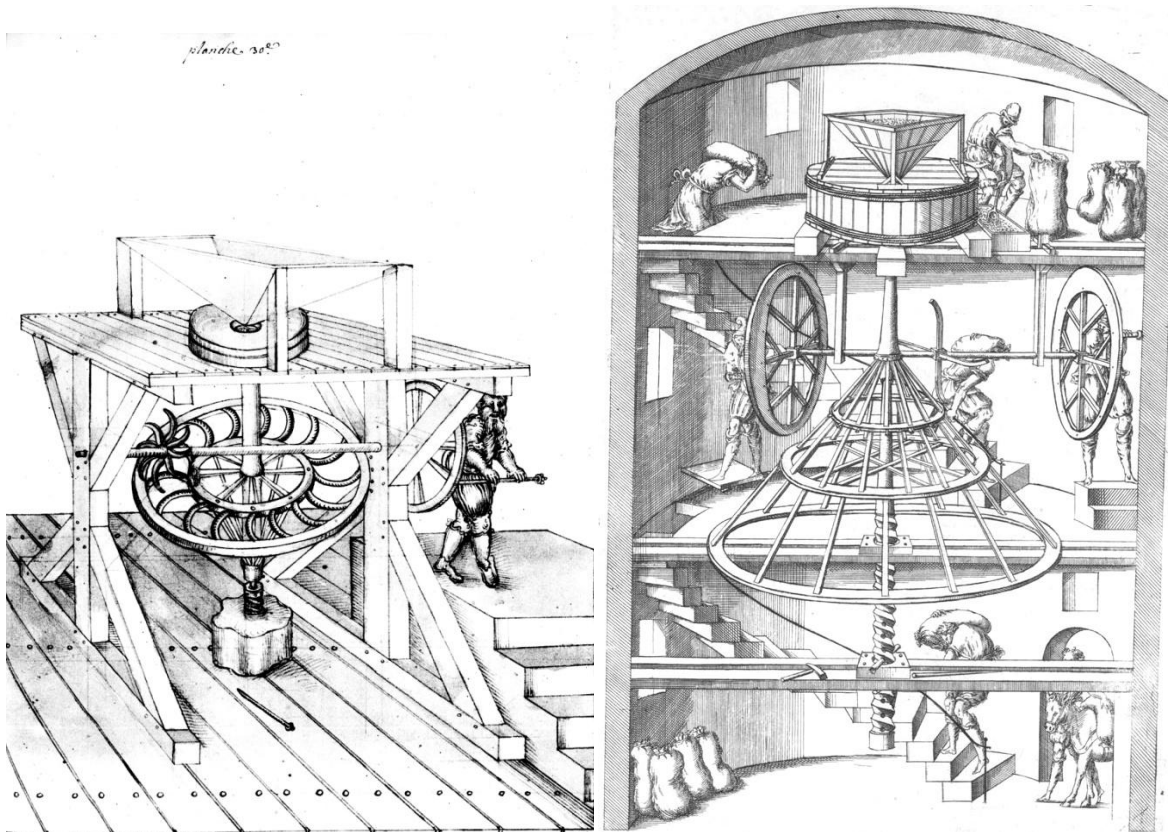


Figure 27 : Planche 30^e de la version manuscrite du livre de Jacques Besson, et planche 27 de sa version imprimée

Pour autant, cette explication ne saurait à elle seule rendre compte des choix iconographiques opérés par les auteurs. Pour comprendre les raisons de ces choix, il faut d'abord relativiser l'originalité des théâtres de machines sur ce point. La représentation en perspective est commune à toute la tradition de représentation des machines depuis le Moyen Âge. Et s'ils sont plus systématiques dans la représentation de décor, ils s'inscrivent pleinement dans les représentations de machines des imprimés de la même période, comme le montre ce graphique ci-dessous, tiré de la DMD³.

³ Wolfgang LEFEVRE et Marcus POPFLOW, « DMD - Database Machine Drawings », *op. cit.*. La différence avec les imprimés s'explique par la présence dans le corpus de la DMD d'ouvrages de mathématiciens comme Jérôme Cardan ou Giuseppe Ceredi.

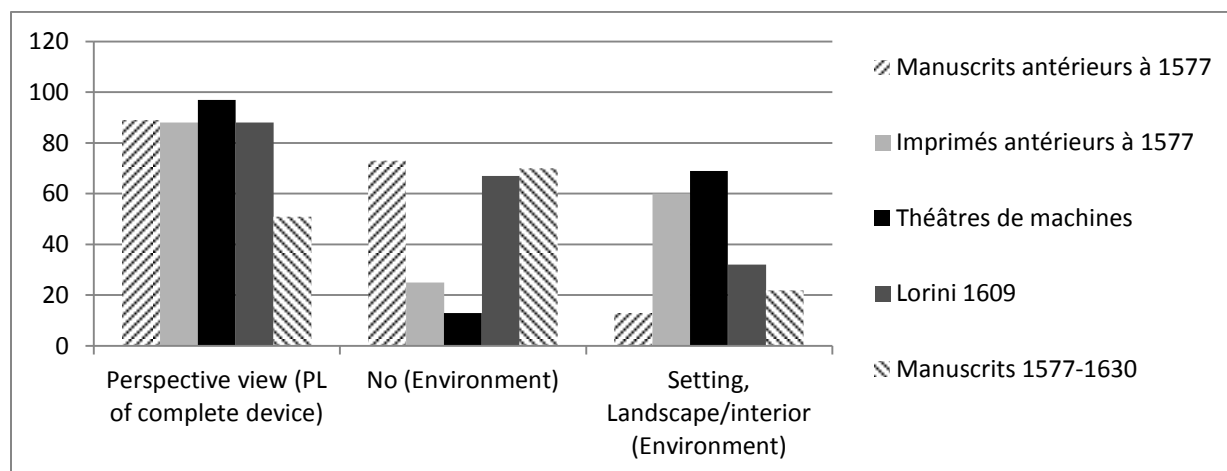


Tableau 16 : Usage de la perspective et de la mise en scène dans la littérature mécanique

Plus encore qu'une méconnaissance du contexte, cette mauvaise interprétation vient d'une incompréhension du sens des choix de représentation des machines. Pour les autres ouvrages imprimés, leur caractère didactique, la précision du texte et le fait qu'ils décrivent l'existant excusaient le choix de dessiner des machines dans leur contexte, comme le fait Agricola. En revanche, les théâtres de machines présentent des machines imaginées, des projets, et la plupart des lecteurs contemporains s'attendaient à un type de graphisme plus « technique », avec des schémas de fonctionnement, des coupes et des plans à l'échelle. C'est oublier que l'objectif n'a jamais été de fabriquer les machines décrites, mais de montrer le pouvoir de conception des auteurs, stimuler celui des lecteurs, et expliquer le fonctionnement des machines.

Témoigner : fonction principale des images⁴

L'objectif principal des livres d'inventions et théâtres de machines n'est pas d'abord d'expliquer le fonctionnement d'une machine et encore moins de la reproduire, mais simplement de montrer : montrer l'*ingenium* des auteurs, et pour ce faire montrer leurs inventions. Dans l'Europe de la Renaissance, la vue est explicitement désignée comme le sens le plus important. Ainsi le premier des « instruments de guerre » présentés par Joseph Boillot est l'œil : « nous luy baillerons à bon droict le principal honneur de tous les

⁴ Pour une analyse des images de machines selon leur fonction et non selon les techniques utilisées, voir Benjamin RAVIER-MAZZOCCO, « Lire les images de machines. Essai pour une typologie analytique des images techniques (XVe-début XIXe) », *e-Phaistos*, 2012, I, n° 2, pp. 54-68.

sens corporels. Aussi est-ce le grand maistre, qui nous pousse à l'estude & inquisition de sagesse & des sciences »⁵. Montrer, dans ce contexte, c'est d'abord rendre compte visuellement des inventions de façon « réaliste ». Il s'agit de coller à l'expérience visuelle, et cela d'autant plus que se met en place une éthique de l'expérimentation⁶. Une domination de la vue qui se poursuit au XVII^e siècle : Steven Shapin a ainsi très bien montré que les comptes-rendus d'expérience de Robert Boyle accompagnaient les descriptions très circonstanciées et détaillées d'images précises : « ce n'est pas le dessin d'une « idée » de pompe, mais celui d'une pompe réelle. ».

Cette importance de la vue, comme sens principal de tout témoignage explique non seulement l'usage généralisé de la perspective, mais aussi la mise en scène des machines. Si l'utilité de la machine réside dans son effet, dans sa fonction, il est logique de représenter celle-ci dans son environnement. Représenter un décor a deux fonctions. La première est de rendre habituelle l'invention, de neutraliser le pouvoir perturbateur d'une éventuelle innovation. Le lecteur reconnaissant l'environnement de la machine, se reconnaît sa fonction, son utilité, sa nature. L'inventeur peut alors jouer sur les mécanismes internes de la machine et apporter les modifications, aussi hétérodoxes soient-elles. Il s'agit d'amener le lecteur à accepter la possibilité de l'efficacité d'une machine, fut-elle inconnue, en la représentant dans un contexte reconnaissable et habituel. Ainsi la plupart des grues sont représentées dans des contextes portuaires ou de construction, les machines à élever les eaux sont souvent présentées en rase campagne, avec en arrière-plan une ville à alimenter en eau.

À cet aspect rassurant de la mise en scène, s'ajoute le fait que celle-ci permet d'apporter un certain nombre d'informations générales, qui permettent d'appréhender rapidement les conditions d'utilisation de la machine. Ne prenons qu'un exemple que nous permet d'analyser la DMD : les personnages. Par personnage nous entendons aussi bien les hommes que les animaux qui ont un rôle ou non dans l'usage de la machine. La DMD nous permet de distinguer les personnages moteurs, c'est-à-dire dont la force musculaire est nécessaire à l'utilisation de la machine (« as power »), les

⁵ Joseph BOILLLOT, *Modèles artificiels de feu*, op. cit., p. 1. Sur le rôle de la vue dans les savoirs, lire Bruno LATOUR (dir.), *Culture technique n° 14 : Les « vues » de l'esprit*, Neuilly-sur-Seine, Centre de recherche sur la culture technique, 1985.

⁶ Pascal BRIOIST, « Les sciences et l'expérimentation à la Renaissance », *Atala*, 2010, n° 10, pp. 31-46.

personnages qui utilisent la machine (« *others workers* »), et ceux qui sont simples spectateurs (« *others* »). Enfin, comme la DMD référence aussi les différents types d'énergie utilisés par les machines, nous avons préféré noter le ratio entre le nombre d'images où un personnage moteur était représenté et le nombre d'images où une machine était mue par une force humaine ou animale⁷.

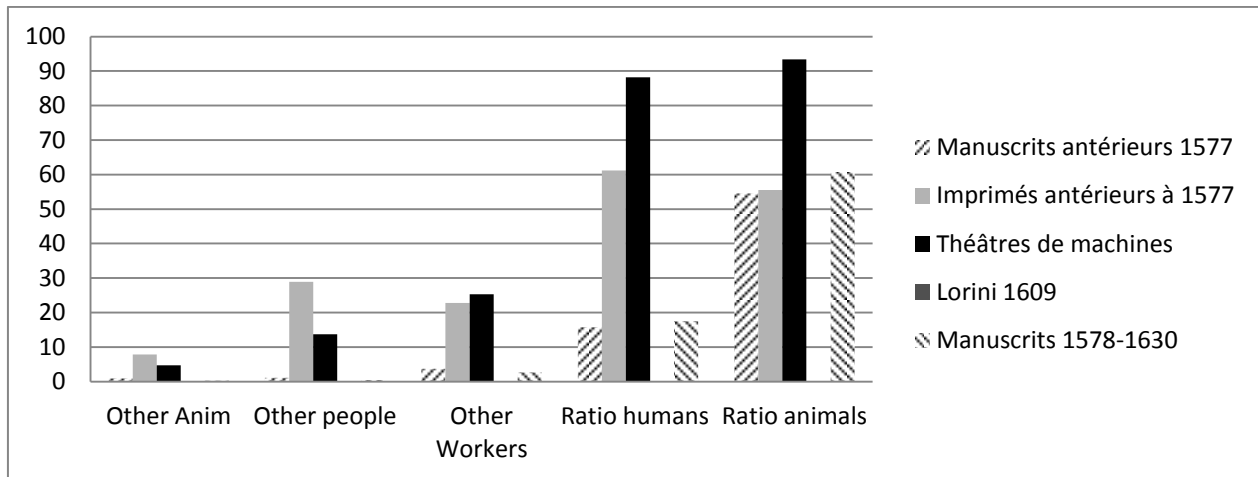


Tableau 17 : Représentation des personnages dans la littérature mécanique

Ce graphique précise bien combien le choix de la mise en scène est lié d'abord et avant à une fonction testimoniale de l'image et non principalement à la volonté de plaire. En effet, les personnages « inutiles » pour le fonctionnement de la machine sont moitié moins nombreux dans les images des théâtres de machines que dans le reste de la littérature imprimée (13,7% contre 28,9% de « *others people* », 4,7% contre 7,9% de « *others animals* »). Cette proportion serait encore minorée si nous enlevions du corpus les livres d'inventions de Jacques Besson et de Jean Errard (26,8% et 37,8% de « *others people* »), qui mettent en scène l'ingénieur en directeur de chantier ou représentent des personnages spectateurs de la puissance de leur invention. Il s'agit d'accentuer dans ces images la puissance des machines (et donc de leur inventeur) et le rôle de l'ingénieur, dans l'objectif explicite de trouver protection auprès d'un prince. Or cet objectif s'effaçant

⁷ Le résultat est obtenu en faisant l'opération suivante : « Humans/animals as power » divisé par « Powered by humans/animals », multiplié par 100 pour réaliser un pourcentage. Tiré de Wolfgang LEFEVRE et Marcus POPFLOW, « DMD - Database Machine Drawings », *op. cit.*, voir Annexe 5 : « Analyse de la « Database Machine Drawings » », p. VI.

avec les ouvrages ultérieurs, l'aspect « séduisant » et la représentation d'autres personnages tend à diminuer.

En revanche, le rôle de l'image testimoniale de l'image suppose d'assurer au lecteur une bonne contextualisation de la machine, ce qui explique la présence massive des personnages travaillant : environ 25% des images représentent des « *other workers* » ; mais cette contextualisation est surtout visible dans le fait que 90% des images de machines mues par une force animale représentent cette force à l'œuvre, qu'il s'agisse d'un homme ou d'un animal, au contraire du reste de la littérature imprimée (ratio autour de 55%).

Ce choix explique aussi la représentation de certains objets, résultats de la machine ou outils pour l'utilisation de cette machine⁸ ; ou encore de la représentation stylisée des forces motrices hydrauliques et éoliennes par des vagues ou des « nuages soufflants ». Dans tous les cas, il s'agit de montrer la machine, de témoigner de sa potentielle existence dans un environnement connu et pour une fonction donnée. Il s'agit en un mot de créer un « effet de réel »⁹ de la machine. Cet ancrage dans la réalité de machines seulement imaginées, et destinées à le rester, vise à permettre au lecteur de mieux cerner l'utilité de la machine ; une nécessité tant pour les livres d'inventions que pour les théâtres de machines les plus pédagogiques.

Du dévoilement à la monstration

Cependant, pour montrer la qualité de son *ingenium*, les auteurs se doivent aussi de montrer les entrailles de la machines, de donner à voir ce qui dans la machine permet de témoigner de leur inventivité. Or, nous l'avons vu, inventer, c'est avant tout lever le secret. C'est donc assez naturellement que nous retrouvons dans la plupart des théâtres de machines des techniques visuelles permettant de montrer au lecteur ce qu'une représentation trop « réaliste » aurait pu cacher. Sur ce point, nous trouvons la DMD

⁸ Un bon exemple de l'usage des objets dans les images de machines se voit dans les planches du livre de Besson sur les tours. La planche 7 représente ainsi sur étagère plusieurs vases de forme ovale réalisés grâce au tour présenté sur l'image. De même, la planche 8 représente à terre plusieurs instruments pouvant être utilisés pour graver les vis. Pour plus de précisions, voir Benjamin RAVIER, « Le discours technique dans les théâtres de machines (1572-1629) », *op. cit.*, p. 151-164.

⁹ Expression tirée de Roland BARTHES, « L'effet de réel », *Communications*, 1968, vol. 11, n° 1, pp. 84-89.

assez lacunaire. Si elle mentionne bien les techniques différentes pour montrer l'intérieur de quelques mécanismes, comme les pompes, elle ne mentionne pas l'usage de ces mêmes techniques pour la machine dans son ensemble et son bâti, généralisées sur de nombreuses images de théâtres de machines.

Les plus connues de ces techniques sont la coupe, issue de la tradition architecturale, l'usage des pointillés, ou la vue par transparence pour représenter des formes cachées. Plus familières, car appartenant au langage visuel technique contemporain, elles sont cependant assez peu usitées. Nous les trouvons quelquefois dans le livre de Jacques Besson, notamment dans les images largement retouchées par l'architecte Jacques Androuet du Cerceau. Nous en trouvons aussi dans le livre de Vittorio Zonca.

En revanche, nous pouvons distinguer deux techniques de dévoilement très utilisées par tous les auteurs du corpus : la « *cutaway view* » et le mur/plancher de séparation. « *Cutaway view* », expression tirée de la DMD, désigne une représentation d'un objet, le plus souvent un bâtiment, dont on retire une partie. Par exemple, pour montrer une machine dont le mécanisme est inséré dans un bâtiment (comme un moulin), l'auteur enlève quelques pierres du bâtiment de façon à faire apparaître les mécanismes cachés derrière le bâtiment. Il est encore possible de « découper » le sol pour permettre à l'œil de pénétrer le secret d'une machine en partie enterrée (comme un puits). Ces types de vues, déjà utilisées dans le livre de Besson pour ses puits, se généralisent dans l'ouvrage de Jean Errard, puis surtout celui de Ramelli ; elles sont encore reprises par Veranzio, et dans une moindre mesure par Vittorio Zonca. La « *cutaway view* » permet à ces auteurs de signifier au lecteur qu'il voit ce qui est normalement caché. Elle permet de mettre scène le dévoilement du secret, une des justifications avancées par les auteurs pour la publication des théâtres de machines.

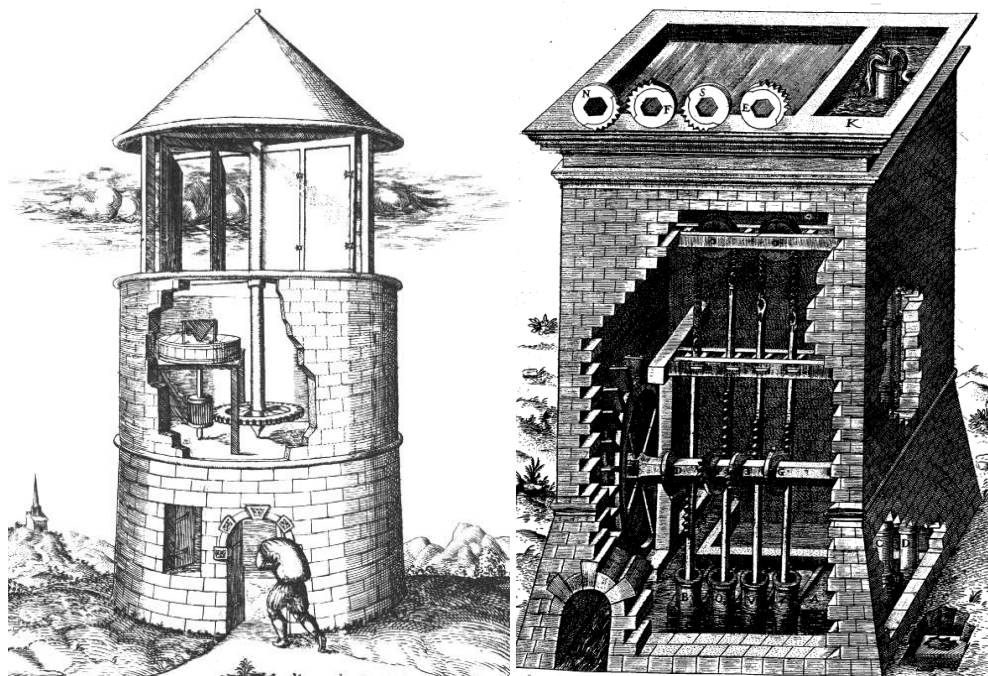


Figure 28 : Exemples de « *cutaway view* » : planche 15 de Jean Errard, *Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques* (Nancy, 1584) ; et illustration du chapitre 72 d'Agostino Ramelli, *Le diverse et artificiose machine* (Paris, 1588)

La seconde technique est plus subtile. Plus proche de la coupe, elle consiste à séparer un espace extérieur d'un espace intérieur où se situe la machine. La séparation étant réalisée par un plancher où un mur qui coupe tout l'espace de la planche. Nous trouvons déjà quelques exemples d'une telle technique dans le livre de Besson (figure 34), et dans les livres suivants, mais c'est dans le *Novo Teatro* de Zonca et dans les *Disseins artificieux* de Strada que nous trouvons une généralisation de cette technique. Dans l'espace extérieur à la machine, nous trouvons le plus souvent la force motrice, moulin, manège ou manivelle, et plus rarement un environnement d'usage de la machine, comme par exemple un moulin tournant dans un espace et délivrant du grain à l'extérieur de cet espace, où une pompe cachée dans un bâtiment et une fontaine extérieure. Parfois, comme chez Strada, les trois espaces du moteur, de la machine et de son résultat sont bien séparés. Cette dichotomie marquée entre intérieur et extérieur, entre l'espace où se meuvent les forces mécaniques et l'espace extérieur d'où rien n'est visible dit aussi au lecteur que le livre lui donne accès à un espace qui lui était auparavant interdit. C'est une mise en scène du dévoilement, mais réalisé d'une autre manière. Il

permet par ailleurs d'insister sur le rapport avec la force motrice et avec l'instrument, en séparant bien les espaces.

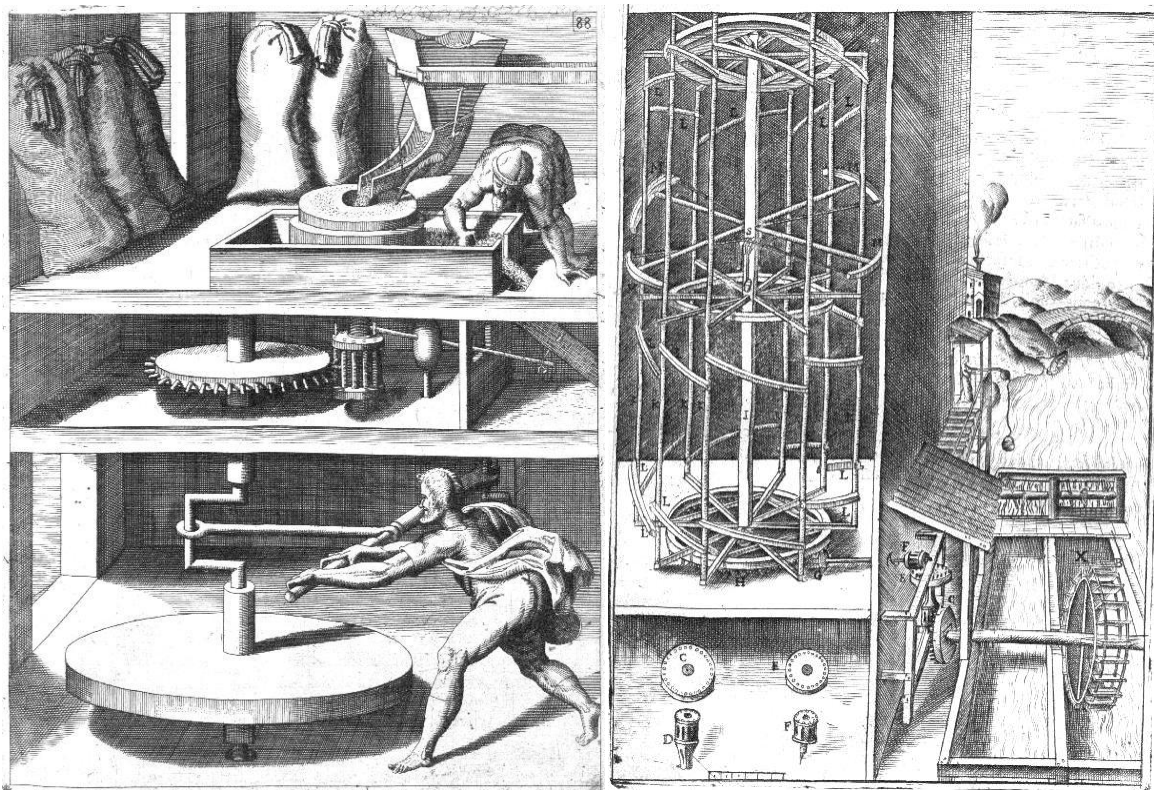


Figure 29 : Exemples de séparation des espaces : planche 88 de Jacob Strada, *Disseins artificieux* (Francfort, 1617) ; et page 68 de Vittorio Zonca, *Novo teatro di machine et edificii* (Padoue, 1607)

Ces techniques visuelles sont utilisées par tous les auteurs, sauf peut-être Salomon de Caus. Celui-ci généralise une technique restée marginale (quoique présente) dans les livres de machines précédents : le bâti « aérien ». Il s'agit de ne pas représenter un bâtiment ou un environnement trop « encombrant », c'est-à-dire cachant la plupart des mécanismes, mais de montrer un bâti réduit au minimum : les quelques poutres nécessaires à ce que chaque pièce de la machine puisse reposer sur un point stable. Cela donne à l'image l'aspect d'une représentation de la machine en modèle réduit¹⁰. Cette technique était déjà largement utilisée par Francesco di Giorgio Martini, et n'est pas en soi nouvelle. Ce qui est nouveau en revanche, c'est sa généralisation dans un ouvrage

¹⁰ Il suffit pour s'en convaincre, de comparer les images de Salomon de Caus à celles de Jean-Baptiste [PICOT], *Explication des modeles des machines et forces mouvantes que l'on expose à Paris dans la ruë de la Harpe, vis-à-vis Saint Cosme*, op. cit. Voir *infra* Figure 7 : p. 136.

imprimé destiné aux machines. Le bâti aérien ne dit rien en effet du dévoilement à l'œuvre, il permet simplement de simplifier la monstration, de permettre au lecteur d'avoir en un seul point d'un vue, l'ensemble de la machine, son moteur et ses instruments sous les yeux. Ce nouveau paradigme de la monstration « pure » correspond bien à l'objectif pédagogique que se donnent les théâtres de machines après 1600.

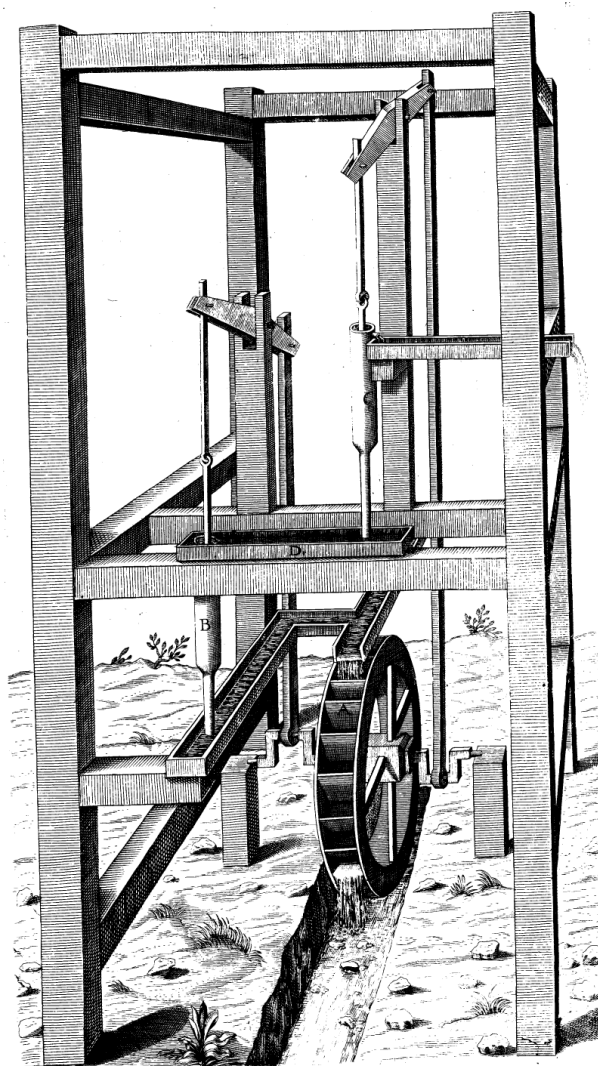


Figure 30 : Exemple de bâti aérien : illustration du problème 3 de Salomon de Caus, *Les Raisons des forces mouvantes* (Francfort, 1615)

Cette pédagogie se retrouve aussi dans les ouvrages de Vittorio Zonca et Heinrich Zeising, mais grâce au thème de la visite, très présent dans ces ouvrages. La visite est un thème pictural classique, que nous retrouvons dans de nombreuses tapisseries et peintures jusqu'à nos jours. Elles ont souvent pour rôle de magnifier le pouvoir d'un patron

ou d'un souverain¹¹. Dans le contexte de théâtres de machines visant explicitement à éduquer le prince, ce thème de la visite prend cependant un autre sens. Il s'agit de mettre en scène la volonté de monstration des machines à des fins pédagogiques. Ainsi, Vittorio Zonca insiste-t-il principalement sur le personnage qui montre et non celui qui regarde. C'est le guide, qui d'un geste de main, montre au lecteur la machine, le fait pénétrer dans le secret des mécaniques. Mais le fait que cet homme ne soit pas représenté en plein travail mais plutôt opulent, en fait le propriétaire. Il ne s'agit plus de montrer l'*ingenium* d'un ingénieur, mais l'utilité d'une machine dont le lecteur est appelé à comprendre et l'usage et le fonctionnement.

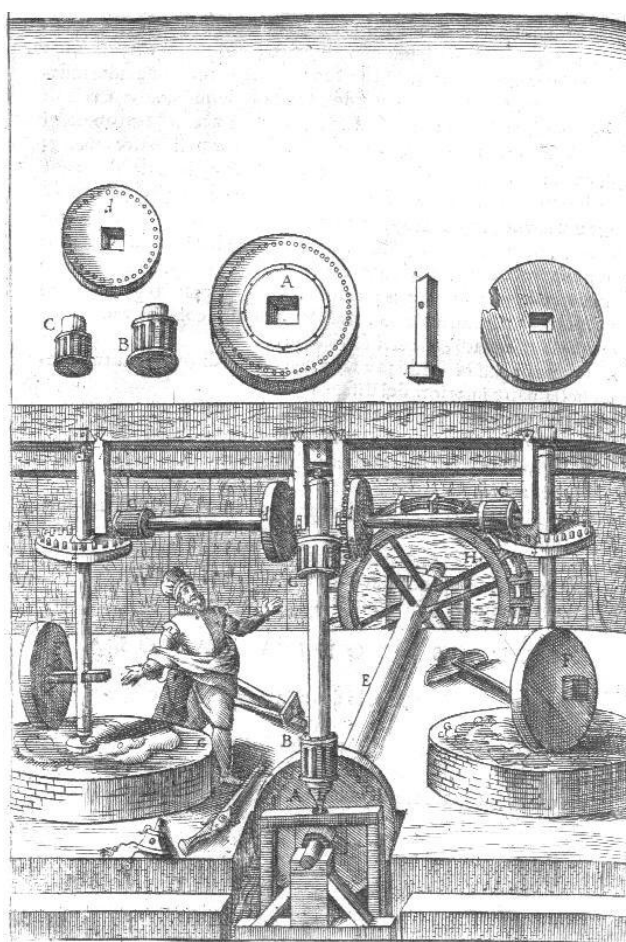


Figure 31 : Présentation de meule à pulvériser la poudre : page 26 de Vittorio Zonca, *Novo Teatro di machine et edificii* (Padoue, 1607)

¹¹ Sur ce sujet, mentionnons Nicolas PIERROT, *Les images de l'industrie en France : peintures, dessins, estampes, 1760-1870*, Thèse de doctorat, sous la direction d'Anne-Françoise Garçon, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 2010, 1105 p.

Si ce thème de la visite est présent dans plusieurs images du livre de Vittorio Zonca, c'est d'abord et avant dans les *Theatri* de Heinrich Zeising que ce thème pictural est le plus utilisé, et qui connaît les variantes les plus diverses. La mise en scène générale diffère de celle de Zonca. Zonca présentait un personnage présentant la machine au lecteur. Zeising présente, lui, un couple de personnages : l'un qui montre, et l'autre qui regarde, et écoute. Nous pouvons distinguer plusieurs types de « couples ». Il y a d'abord le gentilhomme qui montre à une dame de cour une machine au « merveilleux » effet (Figure 32 : a. ci-dessous), ou encore la représentation de deux gentilshommes discutant ensemble sur une machine, parfois au détour de ce qui semble une promenade. Surtout, nous voyons le retour de la figuration de l'ingénieur. Celui-ci est toujours représenté bien habillé, avec un chapeau sans plume, et tenant dans la main une équerre, une règle, ou un livre. Il apparaît dans trois types de positions. Il peut apparaître, toujours habillé en bourgeois, seul, observant, surveillant le travail des opérateurs et de la machine. Il est alors en position de visite, de celui qui vient contrôler, vérifier le fonctionnement d'une machine, juger en expert de son utilité (Figure 32 : b.). Le plus souvent, cependant, il est accompagné. Nous le trouvons alors avec un maître-artisan, reconnaissable à son habit plus simple, parfois à son bonnet phrygien et son tablier. Celui-ci montre parfois à l'ingénieur une machine. Là encore, l'ingénieur est en position d'expert. Le plus souvent cependant, celui qui tient la règle donne des explications ou des instructions au maître-artisan en pointant un mécanisme avec sa règle (Figure 32 : c.). Enfin, un dernier type de représentation, de loin le plus utilisé, montre l'ingénieur en train d'expliquer la machine à un personnage plus important, portant chapeau à plumes et souvent à cheval (Figure 32 : d.).

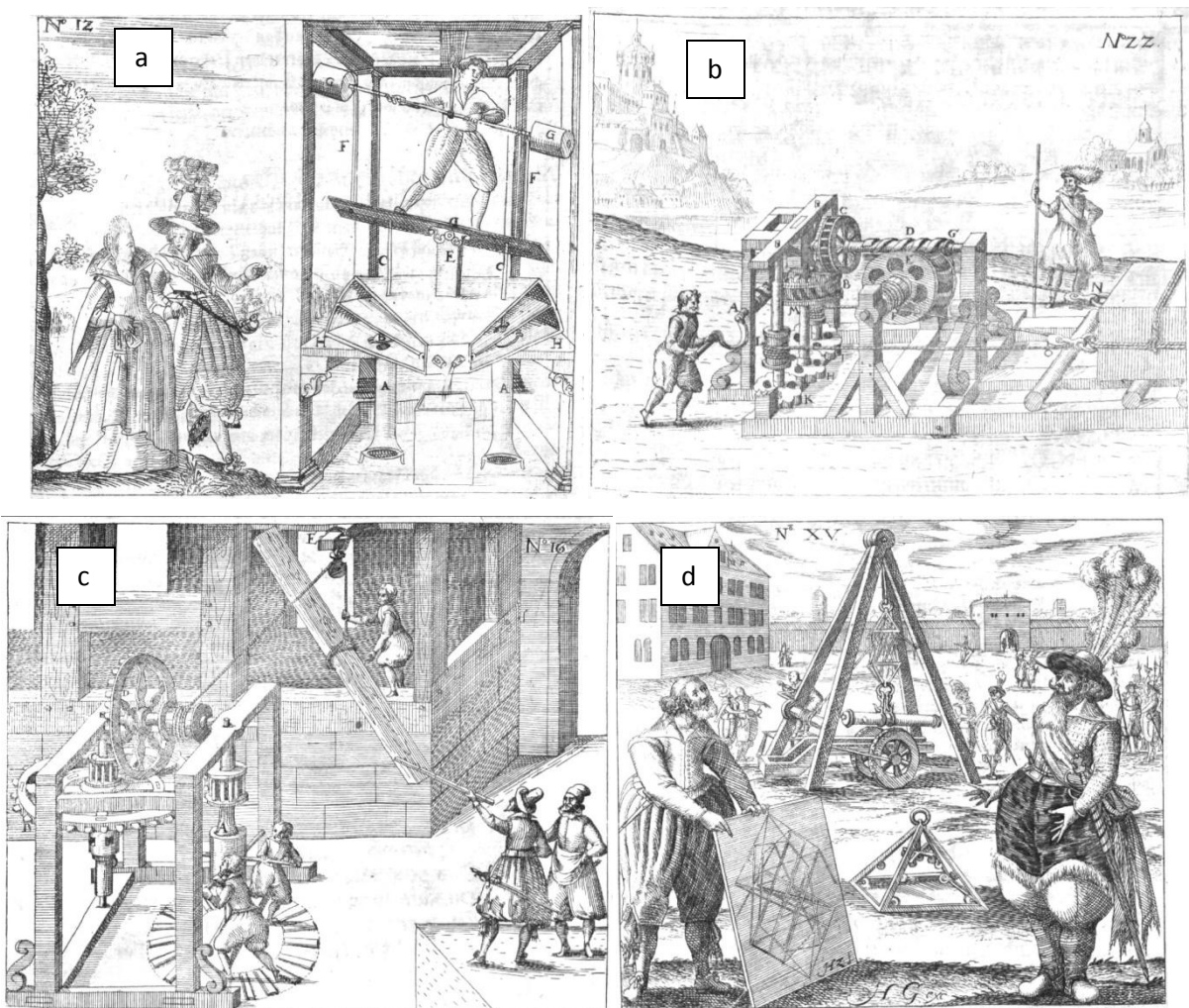


Figure 32 : Différents exemples de « visites » dans Heinrich Zeising, *Theatri Machinarum* (Leipzig, 1612-1613) : planche 12 (a) du second tome, planches 22 (b) et 16 (c) du quatrième tome et planche 15 (d) du premier tome.

Dans tous les cas, l'ingénieur ou parfois les gentilshommes sont décrits comme des pédagogues. Ils pointent la machine et l'expliquent. L'idée principale est donc bien d'expliquer le fonctionnement de la machine et non de montrer l'ingénieur à l'œuvre dans son invention comme dans les premiers ouvrages. Si l'objectif pédagogique est ainsi montré et mis en scène, c'est qu'il devient la raison d'être principale de ces théâtres de machines. Pour autant, l'idée d'expliquer la machine, de montrer son fonctionnement n'était pas entièrement absente des autres livres de machines. Le dévoilement du secret passe aussi par cet impératif d'éclaircissement et donc d'explication. Montrer l'*ingenium*, c'est aussi savoir montrer en quoi il consiste précisément. Si les légendes jouent ici un rôle prépondérant, il nous faut d'abord finir cette analyse des images en montrant

l'augmentation de l'usage de techniques visuelles permettant de faciliter la lecture de la machine.

De l'éclaircissement à la logique du catalogue

L'ensemble du corpus ne sort pas de ce que nous appelons « le paradigme de la perspective »¹². La grammaire visuelle demeure globalement homogène d'un auteur à l'autre et la DMD nous permet de voir que, comme le reste de la littérature mécanique depuis le Moyen Âge, l'usage d'une échelle, de schémas, de plans, est à la fois connu mais rarement utilisé. En moyenne, moins de 3% des images utilisent une de ces techniques graphiques particulières permettant de faciliter la compréhension ou simplement l'appréhension d'une machine. En revanche, une technique est particulièrement souvent utilisée : l'éclaté. La DMD ne mentionne pas l'éclaté comme une technique, mais permet de connaître le nombre d'images où des éléments de machines sont représentés en perspective, ce qui correspond *de facto* au nombre d'images où nous trouvons un éclaté¹³. Il apparaît que, dans les théâtres de machines comme dans le reste de la littérature imprimée, 35% des images contiennent un éclaté en perspective, c'est-à-dire représentent un élément de la machine détachée de la représentation de celle-ci.

L'éclaté, en détachant une partie de la machine, permet de focaliser l'attention du lecteur sur cette partie, et permet parfois de proposer un autre angle de vue. Ainsi, le lecteur peut mieux appréhender cette partie, mieux voir son fonctionnement et sa composition précise. L'usage de cette technique témoigne donc d'une volonté d'améliorer pour le lecteur la facilité de compréhension. Ces nombreux éclatés permettent de familiariser le lecteur avec ce qui constitue la nouveauté, avec les parties étranges de la machine. L'usage de l'éclaté et sa forme varient selon la méthode topique utilisée par les auteurs. Pour Besson et Errard, les éclatés, détaillant les pièces qui composent certains éléments de machines, permettent d'en saisir les principes et la nouveauté. Nous notons

¹² Par opposition à un paradigme schématique qui se développe dans les ouvrages de mathématiques ou au paradigme du graphisme technique (celui des *blueprints*). Benjamin RAVIER-MAZZOCCO, « Lire les images de machines », *op. cit.*.

¹³ Il s'agit de l'analyse de l'entrée « perspective view » du champ « Pictorial langage of machine elements ». Il existe d'autres techniques de représentations des éléments de machines, mais ils sont minoritaires et pourraient faire doublon, gênant la lecture des résultats.

aussi chez ces deux auteurs, l'usage d'éclatés très simplifiés qui en font presque des schémas. Ces éclatés « de principe » permettent d'accentuer le regard sur la seule compréhension du fonctionnement de la machine. Un usage schématique que nous retrouvons chez Giovanni Branca. Pour Ramelli, lui les éclatés sont toujours mis en scène et en perspective. Comme c'est la combinaison qui prévaut, il s'agit de montrer des pièces particulières, fussent-elles bien connues, comme les pompes à soupapes montrées sur la figure du « chapitre » cinq. Une fois bien définis grâce à l'éclaté, ces éléments sont alors recombinaés et réutilisés dans de nombreuses autres machines¹⁴. Dans tous les cas pourtant, nous observons un certain manque de précision, comme par exemple dans le nombre exact de dents nécessaires à une roue pour son bon fonctionnement. Comme l'explique Alexander Keller, les auteurs proposent ainsi un monde « d'impression visuelle »¹⁵. L'objectif des premiers livres de machines n'est pas à la reproduction mais bien à la monstration de l'*ingenium*. Une méthode de représentation diagrammatique qui insiste moins sur ce qui est que sur comment cela fonctionne. Une façon de penser le dessin de machine dont Andréas Böckler se fait encore, en 1661, le défenseur :

« S'il s'avérait cependant [...] que quelqu'un objecte que l'on aurait dû tracer avec juste *proportion* et division tous les ouvrages d'eau et de meulage avec le compas et la règle et que l'on aurait dû les expliquer davantage, il faut alors que l'on sache qu'en fonction de causes particulières, ceci a été omis intentionnellement. Il est dit selon le vieux proverbe : il est facile de prêcher aux sages ; mais n'est-il pas nécessaire de mettre la bouillie dans la bouche des enfants ? »¹⁶

Le proverbe de Böckler signifie que des explications trop complexes et une précision trop grande seraient en réalité préjudiciables à la bonne compréhension de la machine par des non-connaisseurs, des « enfants ». Pour Böckler, mieux vaut qu'ils comprennent les machines, fusse au prix de quelques imperfections, plutôt qu'ils ne comprennent pas une machine par trop précise et complexe dans sa représentation.

¹⁴ Pour une typologie des types d'éclaté, Benjamin RAVIER, « Le discours technique dans les théâtres de machines (1572-1629) », *op. cit.*, p. 137-147 et Benjamin RAVIER-MAZZOCCO, « Lire les images de machines », *op. cit.*

¹⁵ Alexander Gustav KELLER, « Review », *op. cit.*

¹⁶ Préface de Georg Andreas BÖCKLER, *Theatrum machinarum novum*, *op. cit.*. Texte original : „...jemand finden dass man die eigentliche *Proportion* und Austheilung aller gedachten Mühl und Wasser-Wercker hierinnen durch den Circkel und Mass-Stab hette vorstellen und weitläufftiger erklären sollen : Als ist hierauff zu wissen : Dass aus sonderbaren Ursachen dieses mit Fleiss übergangen, dann es heist, nach dem alten Sprichwort : Den Gelährten ist gut Predigen; Und muss man den Kindern den Brei nicht gar ins Maul streichen.“

Ce manque de précision disparaît avec les ouvrages de Vittorio Zonca et Salomon de Caus. Le tableau suivant montre d'ailleurs une rupture dans l'usage quantitatif de l'éclaté. Alors que les premiers livres de machines et le livre de Branca usent moyennement de l'éclaté (de 8 à 38%), les livres de Zonca et de Salomon de Caus en font un usage massif (de 62 à 72%) qu'il convient d'expliquer.

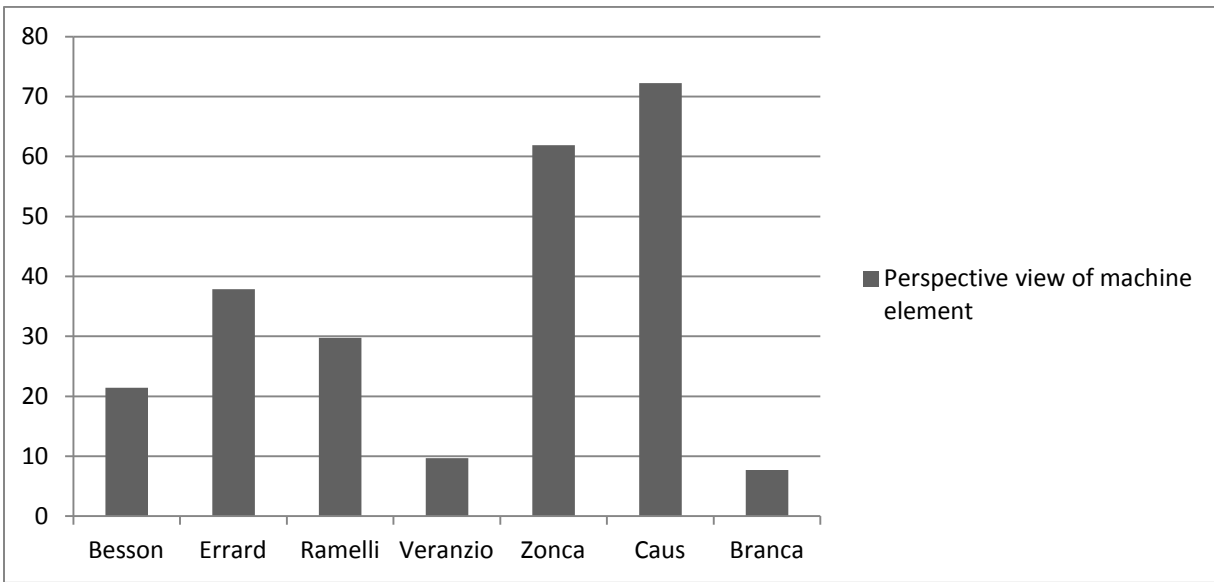


Tableau 18 : Taux d'usage de l'éclaté en perspective dans les théâtres de machines

Cette généralisation de l'éclaté cache en réalité un changement majeur de son usage. Jusque là les éléments de machines en éclaté étaient représentés dans des espaces vierges de la page, ou mis en scène dans l'environnement de la machine. Cela change complètement avec le livre de Vittorio Zonca. D'abord l'auteur représente des pièces élémentaires : roues dentées, vis, etc. Ce sont des objets cohérents. Il ne représente pas de mécanisme dans son entier, mais bien pièce par pièce. Ensuite, dans plusieurs images, l'auteur place ces éclatés dans des espaces bien délimités de l'image. Il ne s'agit plus de montrer le fonctionnement de la machine, expliqué par ailleurs, mais de compléter le catalogue des machines par un catalogue de pièces mécaniques. Cet aspect est encore accentué quand l'auteur place une échelle sur l'image. Les objets dans leur matérialité la plus évidente deviennent ainsi encore plus appréhendables par le lecteur, et trouvent une autonomie qui lui permet de constituer un vocabulaire technique inédit. Ainsi, ces planches du *Novo Teatro* se rapprochent de certaines planches de l'*Encyclopédie*, avec leurs vignettes et leurs catalogues d'objets.

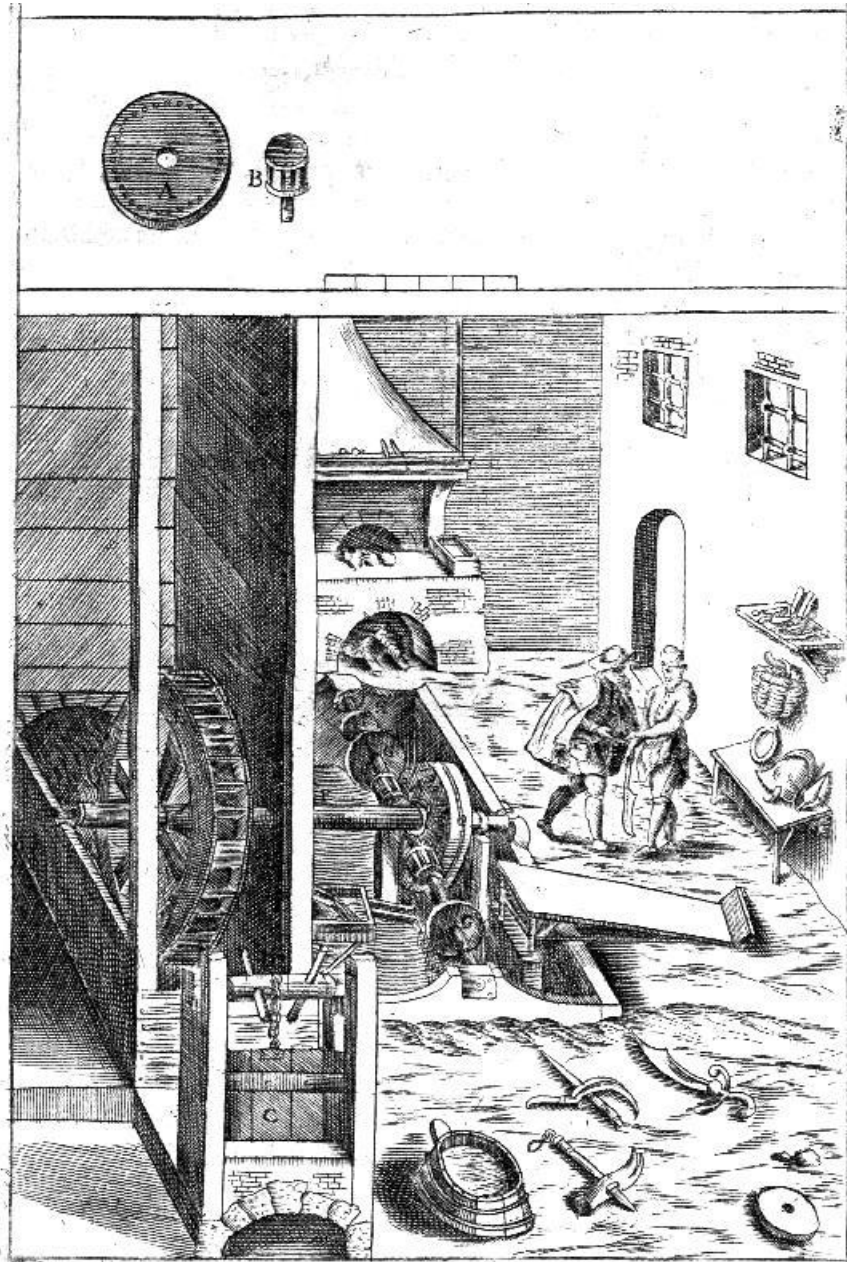


Figure 33 : « Moulin à aiguiser », intérieur d'un atelier de coutelier, dans Vittorio Zonca, *Novo Teatro di machine et edificii* (Padoue, 1607)

Gardons nous d'un contresens : il s'agit bien d'offrir au lecteur un appui pour une amélioration du vocabulaire technique, dans une visée pédagogique qui n'est plus simplement d'explication du fonctionnement, mais de constitution d'une culture mécanique générale. Les pièces présentées par Zonca ne sont d'ailleurs pas particulièrement nouvelles, elles sont au contraire extrêmement banales. Dans son ouvrage, de Caus reprend lui aussi ce type de représentation pour des objets assez

communs, mais qu'il convient que le lecteur connaisse dans le détail. Ainsi d'une pompe dans le 16^e problème, ainsi encore des lentilles, utilisées pour chauffer l'eau dans le 14^e problème. Certaines remarques prouvent d'ailleurs que, bien que la précision compte, c'est la compréhension de la machine qui prime encore chez ces auteurs :

« Comme il se peut facilement comprendre par la figure, laquelle figure n'a peu estre faite haute assez, selon la proportion de ses mesures, à cause que le papier ne la permis, mais il sera facile d'imaginer ladite hauteur comme elle doit estre. »¹⁷

La citation montre que c'est bien la précision des proportions, et non des mesures exactes (ce qui nous donne encore le sens de la présence de l'échelle chez Zonca) qui compte, puisqu'il faut à l'auteur justifier un manquement. Mais dans le même temps, l'ingénieur explique que là n'est pas l'essentiel. L'usage de l'éclaté dans ces théâtres de machines pédagogiques témoigne d'une volonté de rationalisation de la représentation en vue de constituer un lexique visuel, que j'ai appelé catalogue, à la fois de machines bien comprises et de mécanismes.

Pour comprendre les machines, ces deux auteurs font d'ailleurs montre d'une recherche inédite dans les techniques visuelles utilisées. Ainsi, fidèle à sa vision d'une machine comme bâtiment (« assemblage et ferme conjonction de charpenterie ») en mouvement, Salomon de Caus propose non plus des schémas mais des plans, de divers point de vue. Ces plans apparaissent explicitement comme des moyens d'éclaircir la machine, d'expliquer les racines du projet mécanique que l'auteur a montré au lecteur auparavant : « À cause que la precedente Machine est fort difficile à entendre, j'ay mis icy son Orthographie... ». Toutes ces représentations visent à donner au lecteur des informations qu'il n'a pas dans une simple vision en perspective. Il s'agit non seulement de montrer la machine et de l'expliquer, mais surtout de parfaire la culture mécanique du lecteur. Une évolution des théâtres de machines qui se traduit tout autant dans les textes et les légendes.

¹⁷ Problème 2 de Salomon de CAUS, *Les raisons des forces mouvantes*, op. cit..

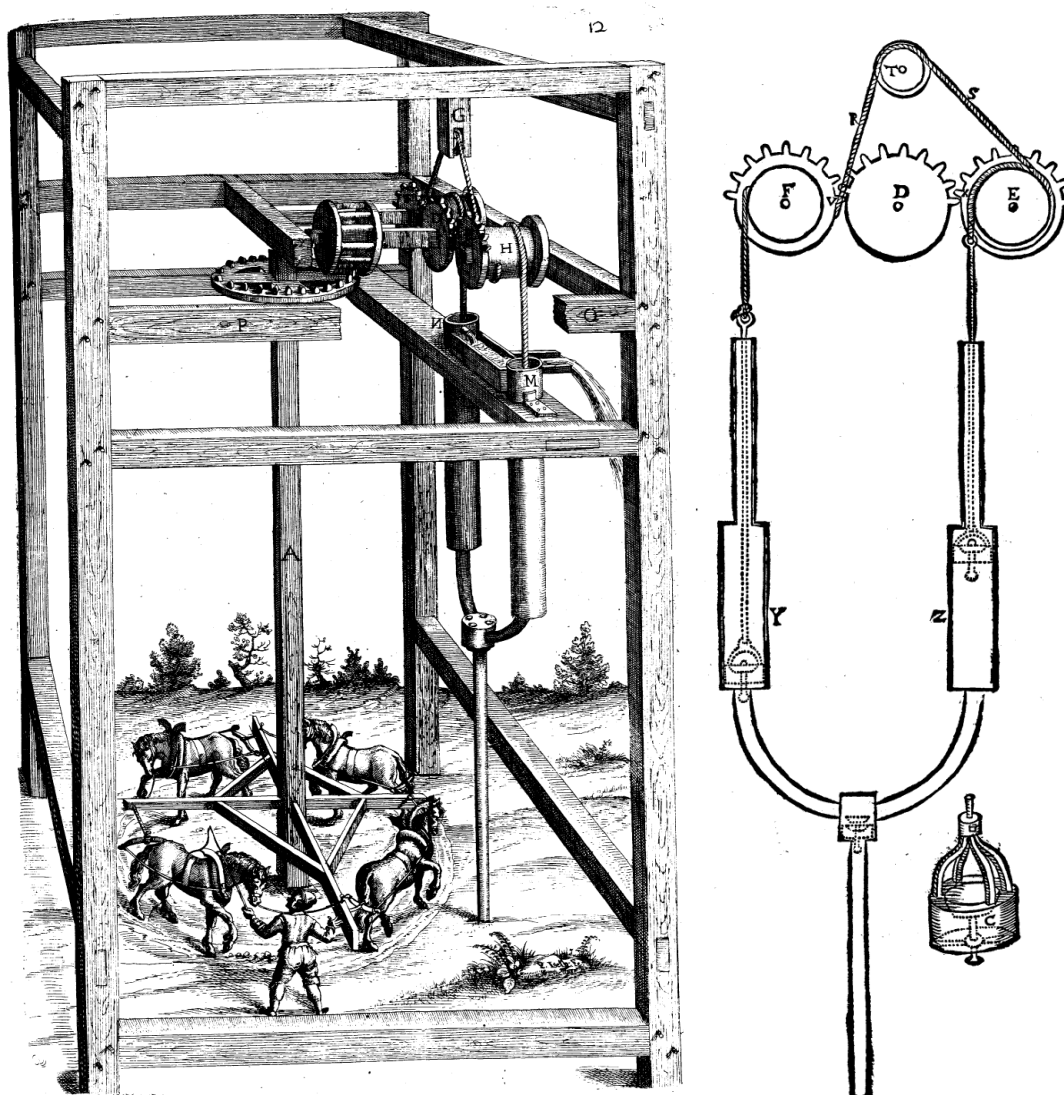


Figure 34 : Une machine à élever l'eau et son « orthographe ». Problèmes 3 et 4 de Salomon de Caus, *Les Raisons des forces mouvantes* (Francfort, 1615)

Dire la machine

De l'image au texte

Cette évolution marquée de théâtres de machines topiques vers des traités obéissant à une logique de catalogue se traduit par une importance de plus en plus marquée des textes. Un mouvement qui se traduit par plusieurs changements. Le premier d'entre eux est la place des légendes. Dans les premières versions imprimées du livre de Besson, qui

doit beaucoup à Jacques Androuet du Cerceau¹⁸, de très courtes légendes latines sont gravées à même les planches, elles sont complétées par des traductions françaises, placées en liste au début de l'ouvrage. Dans les éditions de 1578 et 1579 du *Theatrum*, François Beroald complète les légendes courtes en début d'ouvrage par des explications un peu plus poussées. Cette organisation texte-image est reprise dans le livre de Jean Errard en 1584 : s'il ne complète pas toutes les légendes par des explications détaillées, c'est seulement dans les textes français placés en début d'ouvrage qu'il s'autorise quelques explications plus poussées sur certaines machines. Vers 1595, Fausto Veranzio utilise encore la même technique. Enfin, c'est de la même façon que Jacob Strada (1617) placera ses explications dans la version allemande des *Desseins artificieux*.

Cette façon de faire a d'abord un avantage technique pour l'imprimeur. Elle lui permet de séparer l'impression des textes liminaires typographiés sur une presse « normale », de celle des figures gravées sur cuivre qui nécessitent une presse spécifique¹⁹. Il peut même sous-traiter cette tâche. Il en ressort une production plus rapide et moins couteuse, et sans doute est-ce là la raison principale de ce choix éditorial. Toutefois, ce choix est permis par l'organisation topique, de type genre/espèce, choisi par ces ouvrages. En se focalisant spécifiquement sur les principes des machines, ils peuvent simplement mentionner sa forme et sa spécificité, sans tenir compte du reste de la machine. L'image apporte des précisions qui ne sont pas pointées dans le texte, car elles ne forment pas le cœur de la machine sur lequel insiste ce type de topique. Dans ce qui est important, l'organisation topique genre/espèces, texte et image se répètent : l'un rend compte de cette succession dans l'ordre de l'écrit quand l'autre le fait par l'image. Ils sont plus indépendants qu'interdépendants, chacun montrant simplement la fonction de la machine et son « principe ».

Plusieurs changements interviennent dès lors que les auteurs souhaitent offrir plus de précisions sur les machines. L'évolution du *Theatrum* de Jacques Besson est un bon exemple. En 1578, François Beroald ajoute quelques précisions, notamment sur la

¹⁸ Daniel REGNIER-ROUX, « Le rôle de Jacques Androuet... », *op. cit.*.

¹⁹ Sur les techniques d'impression des différents types d'images de Gutenberg au XIXe siècle, voir Michael TWYMAN, *L'imprimerie, histoire et techniques*, Lyon, ENS éditions : Institut d'histoire du livre : Les Amis du Musée de l'imprimerie, 2007.

proportion et la forme de certains mécanismes. Pour cela, il crée une échelle abstraite, indépendante de toute correspondance avec des mesures réelles, et divisée en « mesures » et « parties ». De même, pour faciliter au lecteur la désignation de ces quelques mécanismes sur lesquels il focalise l'attention du lecteur, il met en place un repère, en plaçant des « lignes » (orientale, occidentale, septentrionale, méridionale) autour des machines. Ces lignes fonctionnent comme les lignes d'abscisses et d'ordonnées à partir desquelles il est facile de pointer une pièce ou un mécanisme. Mais le changement le plus radical intervient quand Giulio Paschali ajoute à la « déclaration » de Beroald ses propres « additions ». Il change alors la mise en page, en ne plaçant plus les explications en bloc au début du livre, mais en plaçant chaque légende, déclaration et addition en vis-à-vis de l'image. Texte descriptif et image forment ainsi une multitude de petits ensembles. Les allers-retours entre les légendes d'un côté et l'image de l'autre s'en trouvent non seulement facilités mais encore encouragés. Ce procédé est plus couteux pour l'imprimeur, qui, après avoir passé chaque page sous la presse à plaques de cuivre doit encore faire passer la même page sous une presse typographique « normale ». Mais il permet au lecteur une lecture beaucoup plus agréable.

Ces changements dans les éditions successives du livre de Besson trouvent assez peu d'échos dans les livres visant à faire valoir l'*ingenium* d'un inventeur, que ce soit pour des raisons carriéristes (Errard, Bachot), ou simplement de gloire familiale (Veranzio, Strada). En revanche, ils sont repris de façon systématique dans le livre de Ramelli. L'ingénieur italien place toujours ses textes en vis-à-vis des images, constituant 195 chapitres indépendants. Afin d'améliorer la lecture, il ne met pas en place un référentiel comme Beroald, mais il utilise un système de lettres de références, qui permet des allers-retours encore plus faciles entre le texte et l'image.

Cela s'explique par le choix de topique qu'il effectue. Utilisant une topique de la « conjugaison », de la recombinaison de mécanismes, Ramelli a besoin de guider le lecteur dans l'usage de tous les mécanismes et pas seulement d'un mécanisme central. Ses légendes sont plus développées, et reprennent systématiquement le même schème du « chemin cinématique », de la force motrice vers l'instrument²⁰. Le texte n'est plus là

²⁰ Voir *infra*, p. 51.

pour placer dans l'ordre de l'écrit ce que montre par ailleurs l'image, mais pour guider le regard du lecteur dans l'image elle-même, dans le sens des combinaisons effectuées. Cela suppose une proximité entre le texte et l'image que seul ce rapprochement dans l'espace du livre, et ce référencement permettait. De fait, nous observons, dans le tableau ci-dessous une forte corrélation entre une explication sous forme de « chemin cinématique » et la mise en place d'un système de lettres de références. Les deux techniques se complétant.

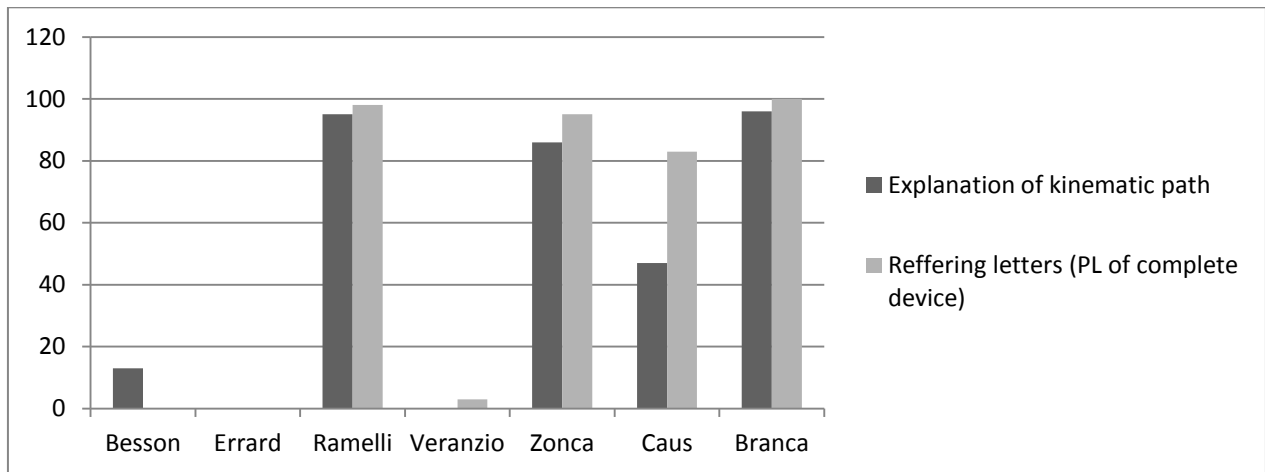


Tableau 19 : Usage des lettres de références et d'une explication en termes de chemin cinématique dans les théâtres de machines²¹

Ce tableau nous montre aussi à quel point la technique de Ramelli fait école. La raison principale en est l'attention que l'association de ces deux techniques permet de faire aux différents éléments de chaque machine. Notons que cette attention aux éléments se place moins en rupture que dans un long processus qui a donné lieu à plusieurs autres traités. Citons d'abord le traité jamais fini et jamais édité des *Elementi machinali* de Léonard de Vinci. Pascal Brioist a bien su montrer que le legs principal du toscan réside non dans l'originalité de ses inventions que « dans sa capacité d'une part à dessiner de façon convaincante, grâce à l'art de l'axonométrie, des idées de machines encore non réalisées mais grâce aussi à sa capacité à décomposer les machines en éléments simples »²². Une capacité que partageait sans aucun doute Agostino Ramelli,

²¹ Ce tableau utilise l'entrée « explanation of cinematic path » du champ « content of text » et l'entrée « Referring letters » du champ « Pictorial language of complete device ».

²² Pascal BRIOIST, « La diffusion de l'innovation... », *op. cit.*.

comme le prouve suffisamment sa connaissance des différents éléments possibles pour réaliser plusieurs transformations cinématiques. Mais nous l'avons vu, là n'était pas le propos principal de l'italien.

En revanche, cette mise en ordre est au cœur de l'organisation des « nouveaux » théâtres de machines pour reprendre l'expression de Vittorio Zonca. L'organisation topique laisse place à des catalogues mieux organisés, selon des principes explicités. Il ne s'agit plus d'insister sur « l'originalité » ou du moins « l'*ingenium* » de l'inventeur, que ce soit à des fins carriéristes (Besson, Errard, Bachot) ou glorificatrices (Veranzio, Strada), mais de permettre au lecteur de parfaire sa culture mécanique. Dans cette logique du théâtre-traité, des auteurs comme Vittorio Zonca, Salomon de Caus, Heinrich Zeising, ou même Giovanni Branca, s'emparent du système « chemin cinématique / lettre de références » non plus pour promouvoir une topique des conjugués, mais pour apporter des précisions nouvelles sur chaque élément. En effet, la description sous forme de chemin cinématique permet de n'oublier aucune pièce, aucun mécanisme, fussent-ils très banal. Plus encore, l'existence de lettres de référence permet de s'appesantir sur certaines pièces avec une singulière économie de place. Les auteurs de ces théâtres-traités peuvent alors donner plusieurs précisions sur le matériau, les dimensions, voire l'usure et la performance de telle ou telle partie de la machine. Le Tableau 19 : (p. 296), et le Tableau 20 : (p. 298) en témoignent de façon flagrante. Alors que Besson, Errard, Ramelli et Veranzio ne donnent des précisions sur les éléments que dans moins de 5% des cas²³, Zonca, Caus et Branca le font dans respectivement 26%, 34% et 15% des cas. Une attention particulière doit être apportée au sens des mesures et matériaux des différents éléments. Rien ne permet d'affirmer que ces informations sont données pour permettre une reproduction de la machine selon des spécifications bien définies. Il s'agit bien plus de donner au lecteur une idée des proportions de la machine. Rappelons que ces ouvrages ont pour but explicite d'aider les souverains à sélectionner les projets viables parmi ceux qui sont proposés. Avoir une idée des proportions est absolument nécessaire pour juger d'une machine, sans avoir à refaire toute la conception par le

²³ La DMD et donc le graphique ci-dessous tient compte des « déclarations » de François Beroald. Celui-ci s'inscrit dans l'idée de parfaire une culture mécanique. Le taux de précision sur le graphique atteint donc 8,3%, notamment du aux mesures effectuées par Beroald, pour donner la proportion des machines.

calcul. Si les proportions sont aberrantes, il faut refuser l'invention, si elles sont à peu près similaires, alors l'invention proposée a plus de chances d'être faisable. La même remarque vaut pour les matériaux. Il ne s'agit pas d'une spécification propre à la machine présentée, mais d'une indication générale.

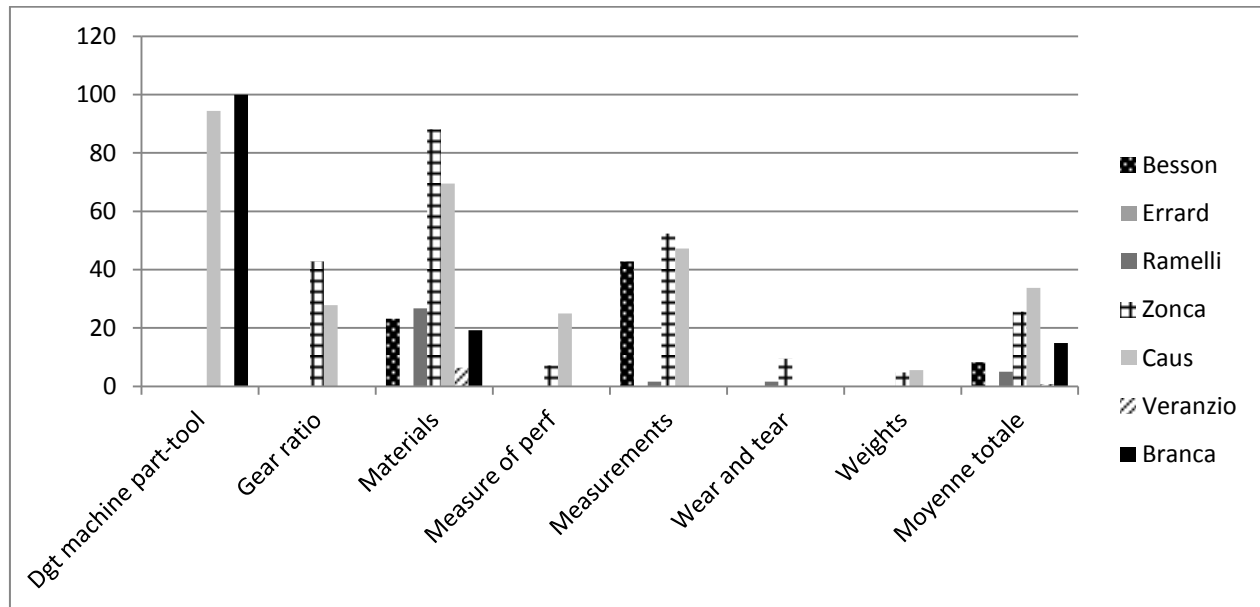


Tableau 20 : Précisions apportés sur les machines et leurs éléments dans les théâtres de machines²⁴

Chez Vittorio Zonca et Heinrich Zeising, cette utilisation des lettres de référence se double de la mise en place d'index des éléments à la fin de chaque description. Accentuant l'organisation sous forme de catalogue, ces tables utilisent aussi les lettres de références pour désigner directement chaque élément, indépendamment de sa place dans la cinématique de la machine. Nous avons là l'aboutissement d'une logique de référencement des éléments permettant de parfaire une culture mécanique.

Cette culture mécanique organisée ne saurait se comprendre sans une attention particulière au vocabulaire. Ici, la DMD (et donc le graphique ci-dessus) souffrent de lacunes que nous ne parvenons pas à expliquer. En effet, nous notons, tout à gauche du graphique, que seuls Salomon de Caus et Giovanni Branca donneraient le nom des éléments de la machine (« *designation of machine part-tool* »). S'il est vrai que ces

²⁴ Analyse de plusieurs entrées sélectionnées du champ « Content of text » de la DMD.

auteurs le font de façon systématique, nous ne pouvons dire que les autres auteurs se désintéressent des questions de dénominations. Au contraire, nous observons, sur l'ensemble du corpus, une véritable attention au vocabulaire et aux termes employés.

Neutraliser le vocabulaire des métiers

Nous avons vu que les auteurs des livres et théâtres de machines mentionnent principalement les machines qu'ils présentent sous forme de périphrase permettant de comprendre la fonction de la machine. Longtemps, l'historiographie y a vu une absence de réflexion sur la nomenclature et le nom des machines. Cette remarque part du postulat que chaque machine présentée est originale et unique et se pense comme telle. En réalité, la logique topique qui domine alors les esprits inventifs de l'époque présuppose de penser par lieux communs. Du point de vue du vocabulaire, cela se traduit par une attention portée, non au nom de chaque machine, mais aux noms génériques des machines et des mécanismes.

Sans réaliser un relevé exhaustif de toutes les appellations de tous les mécanismes présentés dans les théâtres de machines²⁵, nous nous bornerons ici à expliciter la logique de désignation des éléments dans ces ouvrages et son évolution. Le manuscrit de Jacques Besson²⁶ nous fournit un bon point de départ. Les légendes qui y sont développées concernent en effet des objets simples que l'ingénieur dauphinois décrit en détail. Il y a d'abord les objets dont les noms sont connus de tous, ainsi la « reigle » ou le « compas », ou leur partie « manche ». Cependant, ces mots sont loin de suffire. Besson les complète par d'autres noms, en langue vulgaire. Pour les introduire, Besson utilise des expressions qui révèlent leurs aspects communs, ainsi de ces canaux « tout le long en [qu]eue d'hyronde, *comme on dit* » ou encore « il y a la Reigle *qu'on dit* Lesbienne ou servile » qui désigne en fait ce que nous appellerions un mètre-ruban. Qui sont exactement ces « on » ? L'aspect très imagé des noms, empruntés à la description de la nature ou au vocabulaire sexuel, nous est un indice. Anne-Françoise Garçon a montré

²⁵ Cette tâche, que j'ai pensé entreprendre avec l'aide de ma base de données et afin de constituer un glossaire technique, m'a semblé finalement inutile. Nous verrons en effet que l'originalité du vocabulaire dans les théâtres de machines est d'être très générique et de ne pas correspondre aux appellations techniques courantes dans les métiers à cette période.

²⁶ Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.*

que ce sont là des constantes d'un vocabulaire issu du régime de la pratique²⁷, c'est-à-dire, dans le contexte qui nous intéresse, du monde des métiers, sans doute charpentiers ou maçons. Ces emprunts au monde des métiers sont particulièrement nombreux dans le manuscrit de Besson : citons encore le « limaçon » ou encore la « coppulation » des parties d'une vis²⁸.

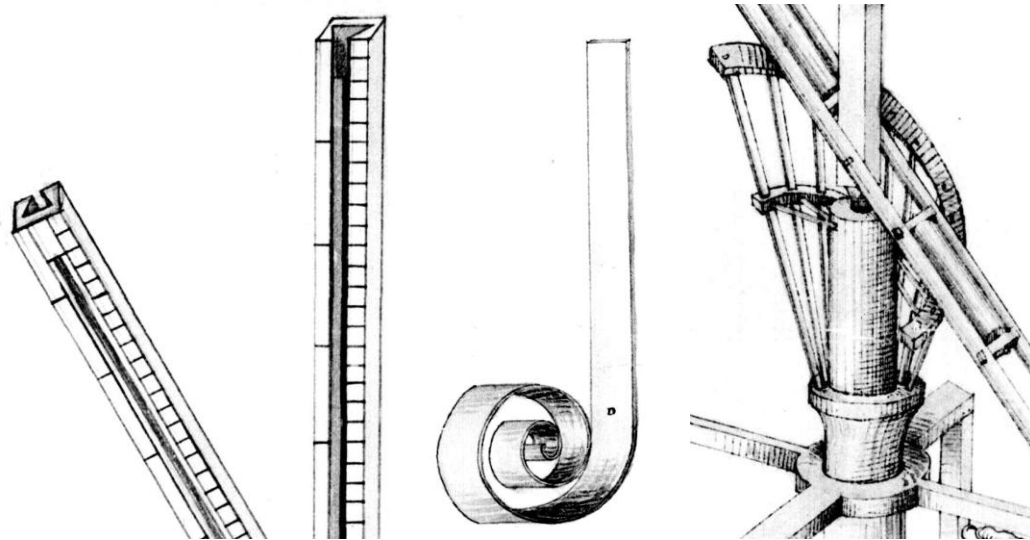


Figure 35 : Règle « en queue d'hyronde », règle « lesbienne ou servile », « limaçon », dans le manuscrit de J. Besson (vers 1570), respectivement planche 2, 1 et 35

Dans le passage du manuscrit à l'imprimé, et sans doute sous l'impulsion d'un Jacques Androuet du Cerceau plus habitué aux usages de la cour, ce langage est complètement lissé. Le changement de vocabulaire est encore plus évident quand François Beroald complète les « propositions » de Jacques Besson par ses propres déclarations. Il s'en explique d'ailleurs dans un quatrain placé après son ode aux amateurs de sciences :

*« Ce livre ne veut point d'un langage mignard
Pour parer sa beauté, l'attrayante éloquence :
Car il veut seulement, qu'on monstre la science
Par mots assez communs aux raisons de son art. »²⁹*

²⁷ « Fours debout, fours couchés » et « Entre journal de voyage et Annales des Mines » dans Anne-Françoise GARÇON, *L'imaginaire et la pensée technique*, op. cit., p. 131-165.

²⁸ Pour Besson, la vis est composée d'une partie « mâle » et « puissante » (la vis en elle-même) et d'une partie « femelle » et « légère » (l'écrou).

²⁹ Pièce en vers dans Jacques BESSON, *Théâtre des instruments*, op. cit.

Le quatrain explique d'abord au lecteur que les auteurs écriront dans un langage simple, duquel sera retiré tout effet de rhétorique. Si les images pouvaient séduire par l'effet merveilleux des machines mises en scène, l'ouvrage demeure technique. Plus intéressant encore est la fin du quatrain : « on monstre la science / par mots assez communs aux raisons de son art ». L'idée est de trouver le vocabulaire facile d'accès, assez commun, pour que les lecteurs puissent le comprendre. Une attaque à peine voilée contre un style scholastique en vigueur dans les livres de philosophie naturelle. Pour autant, ce n'est pas le vocabulaire des métiers que choisit l'auteur. Non seulement celui-ci n'est pas digne de l'écrit, mais il ne peut pas non plus être utilisé de façon universelle. Il faut que les mots « monstre la science », et appartiennent, non à un métier mais « aux raisons » de l'art des machines. De fait, toutes les références sexuelles ou liées au bestiaire des métiers sont bannies, seules demeurent les noms communs issus des formes géométriques, comme « pyramide » pour une matrice de forme pyramidale, ou parfois du vocabulaire des machines simples communes, comme « vis » ou « balance ».

La déclaration de la dixième figure par François Beroald est à cet égard très intéressante, car elle concentre les différentes logiques de la constitution de ce vocabulaire. Les comparaisons avec le monde naturel ou des objets communs n'est pas abandonné, mais il est explicité : « ce tour est en mode d'un establier de manouvrier ». Les objets difficiles à décrire le sont à partir de mots neutres, tirés soit d'une forme connue (« il y a une balance »), soit du matériau utilisé (« fer qui coupe, ou bien polit »). Le lecteur est alors renvoyé à l'image pour faire le lien entre ces noms génériques et leur « espèce » utilisée dans la machine. Cette « espèce », le commentateur lui donne parfois un nom, comme ici le « polissoir » pour faciliter la lecture. Pour autant, ces techniques par genre/espèces ne suffisent pas toujours s'agissant de certains mécanismes plus complexes, qui ne se rattachent à aucun nom générique. Ainsi du sautoir qui permet d'actionner le « polissoir » en question. Face à cette difficulté, il commence par décrire le mécanisme avec un vocabulaire neutre, simple et courant : « sont quelques baston, mis l'un sur l'autre à forme de croix », mais voulant lui trouver un nom, il se trouve dans la nécessité d'obéir à une logique similaire à celle des métiers, en faisant appel à une comparaison

animale : « pource qu'il semble les pieds d'un Sautereau [autre nom de la sauterelle³⁰] je veux l'appeler d'un tel nom ». L'insistance sur l'explication du nom permet de lever l'arbitraire que semble être le langage des métiers. Cependant, ce mot inventé de toute pièce et explicité ne satisfait pas tous les lecteurs et Giulio Paschali rappelle Beroald à l'ordre et lui oppose un nom, sans doute plus courant, mais directement issu des métiers : « nostre interprete nomme Sauterau, combien qu'en françois se dient happevilain ». Si « Happevilain » fait sans doute référence au danger potentiel que représente ce sautoir, il est intéressant de noter, qu'au contraire de Beroald, Paschali n'en dit rien, il laisse le lecteur dans l'arbitraire d'un langage déjà existant. Cette anecdote des explications témoigne de la difficulté de nommer tous les éléments mécaniques.

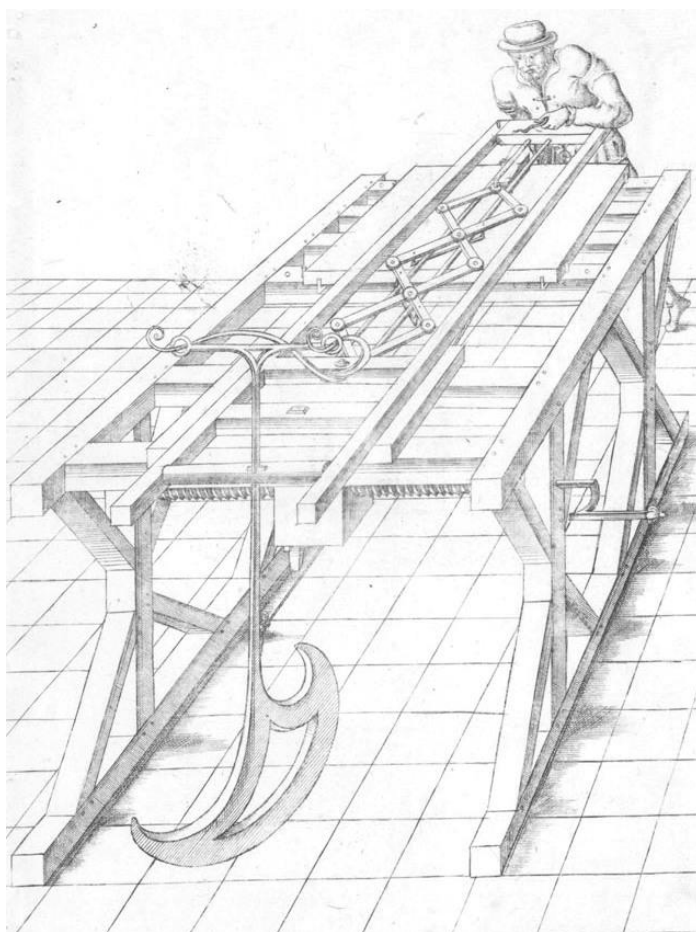


Figure 36 : Planche 10 de Jacques Besson, *Theatrum instrumentorum et machinarum* (Lyon [Genève], 1578)

³⁰ D'après le Trésor de la langue française informatisé (TLFi), disponible sur « CNRTL », *op. cit.*

Pour autant, la neutralisation du vocabulaire, voire son aspect savant se développe dès les premiers livres d'inventions. Jean Errard, dans ses courtes légendes, n'utilise que des mots courants, comme « moulins », des noms de machines simples, comme « poulie », ou des formes géométriques, comme « cylindre ». Cette neutralisation va encore plus loin que celle de François Beroald. En effet, Jean Errard, quand il cherche à nommer quelque chose qui n'a pas de nom commun (mais sans doute de nombreux noms dans les métiers concernés), francise un mot latin. Ainsi du « trispast », dérivé du latin « trispastos », cité dans le dixième livre du *De Architectura* de Vitruve³¹, et qui désigne un assemblage de poulie, axes et/ou roues, permettant de déplacer de lourdes charges.

Le livre de Ramelli poursuit la constitution de ce vocabulaire technique selon exactement les mêmes logiques. Ne prenons que l'exemple des « modiolles », dérivé du latin « modiolus », désignant les corps de pompes et les récipients à eau dans les machines. Ce mot aussi est présent dans le dixième chapitre du *De Architectura* de Vitruve (chapitre 4, 9 et 13), qui apparaît comme une source majeure du vocabulaire technique en construction³². Le système de lettre de référence, en favorisant les allers-retours entre textes et images, est lui-même un outil de cette entreprise de neutralisation du vocabulaire. En effet, l'originalité des machines de Ramelli tient moins en la singularité des formes de quelques mécanismes, qu'en la recombinaison de pièces et mécanismes simples. Nous observons donc, dans son livre, une homogénéité des appellations des éléments de machines. Contrairement à François Beroald qui justifiait l'usage de certains noms particuliers, Ramelli use toujours de noms communs et connus, y compris, et surtout, pour les éléments aux formes nouvelles ou particulières. Pour celles-ci, il renvoie systématiquement le lecteur à la figure. Ainsi du système bielle-manivelle qu'il décrit ainsi : « fait tourner la lanterne E, l'escieu de laquelle est fait avec l'artifice que l'on voit, afin qu'en se tournant, il face hausser & baisser les quatre bras qui entrent dans les quatre grandes pompes L M N O », puis dans la machine suivante :

³¹ Félix GAFFIOT, *Dictionnaire illustré latin-français*, op. cit. ; Jean MARTIN (dir.), *Architecture de Vitruve*, op. cit., livre X, chapitre 2 et 3.

³² Il serait par ailleurs intéressant de comparer ces mots empruntés au savant Vitruve à ceux en vigueur aujourd'hui. Il semble qu'à plusieurs égards peu de mots dérivés du latin ne subsiste aujourd'hui, ceux-là obéissant davantage une logique de la métaphore (moufle pour le « trispast », corps de pompe pour la « modiole »).

« l'escieu est faict avec tel artifice qu'est la precedente »³³. De la même façon, il décrit en détail le fonctionnement et la forme de ses pompes rotatives sans jamais leur donner de nom particulier³⁴.

Forme, matériau, fonction et renvoi à l'image permettent, grâce à des adjectifs de toujours préciser un élément simple au nom connu. Quand aucun nom n'est disponible pour un élément simple, les auteurs cherchent dans Vitruve un mot latin générique approchant et le francise. Dans les théâtres-traités de machines, le processus de latinisation du vocabulaire technique se poursuit selon la même logique. Citons par exemple, le « pestrino » de Vittorio Zonca, dérivé du « pistrinum » latin, qui désignait les moulins à farine urbains et qui est utilisé par Zonca comme un nom générique pour des pressoirs (à laine, à huile).

Avec Salomon de Caus, l'emprunt aux mots savants s'élargit à la constitution des différentes catégories de son « traité ». Ainsi, dans la préface, distingue-t-il les machines « acrobatiques » qui servent à monter les charges pour la construction, les machines « pneumatiques » dont le mouvement vient de l'eau ou de l'air et le genre « banauson » qui désigne les machines à tirer et déplacer les poids. Il ajoute encore, au début du texte du premier problème : « Ceste suivante machine vulgairement dite pompe, est apellee de Vitruve et Herone Machine Stesibique, retenant le nom de l'inventeur d'icelle, qui fut Stesibie Alexandrin ». Le processus glisse ainsi d'une neutralisation du langage imagé des métiers à la constitution d'une langue savante de la mécanique. Un processus auquel participe aussi Heinrich Zeising, en appuyant les appellations des machines simples sur les principes énoncés par Rivius dans sa traduction du Vitruve. Cette attention à la science et son vocabulaire participe d'un mouvement de fond de l'évolution des théâtres de machines, qui se traduit notamment par la mise en place d'introductions théoriques de plus en plus importantes, autre façon de « dire les machines ».

³³ Chapitre 5 et 6 de Agostino RAMELLI, *Le diverse et artificiose machine*, op. cit.. Notons que Ramelli use du mot de manivelle, mais uniquement dans le sens premier de moteur manuel.

³⁴ *Ibid.*, chapitre 38, 39 et 40.

La science mécanique et les machines

Quatre auteurs placent, avant leurs séries de machines (texte et image), avant le théâtre de machines proprement dit, une introduction théorique. Le premier est Jacques Besson, dans son manuscrit. Sous forme d'aphorismes, il livre quelques « principes », qu'il appelle « pétitions », sur lesquels il fonde la conception de ses machines. Sur fond de physique médiévale (influence de la théorie de l'*impetus* notamment), Besson livre en réalité le fruit de son expérience. Tous ces principes s'organisent en trois parties. Les cinq premières pétitions donnent les principes fondamentaux du mouvement et de sa force. Les pétitions six à quinze reviennent sur les conséquences des choix de forme et de matériau sur le rendement des forces employées. Il en ressort que les pièces fines, arrondies, lisses, dures et glissantes ont un meilleur rendement, mais sont plus difficile à « régir ». Les dernières pétitions (16 à 22) reviennent sur des principes pneumatiques et quelques aphorismes tirés de l'expérience. La dernière pétition est d'ailleurs intéressante :

« 22. Si tout ce qui doit faire en mouvant ne se peut parachever en un coup ou plusieurs, s'achèvera neantmoins comme en infinis coups, ny plus ny moins qu'on voit par la goutte la pierre cavee et par la lime l'assier engravé et diminué »³⁵

Cette vision de l'usure ressort d'une théorie atomiste, de plus en plus défendue à la Renaissance³⁶ et contraire à la physique aristotélicienne, mais Jacques Besson ne rentre pas dans le débat. Il s'intéresse seulement à la conséquence de cet atomisme pour sa pensée mécanique, le fait qu'une multitude de petits effets peuvent faire autant, voir plus qu'un « grand » effet. La philosophie naturelle l'intéresse moins en elle-même, que par les conseils, les « maximes » qu'il peut en tirer pour la conception de machines, notamment pour penser la force d'une machine, ou pour le dire autrement, son travail mécanique, seul à même de faciliter la compréhension d'un système mécanique en termes d'avantages³⁷. En effet, les deux « communes sentences » qui suivent ces pétitions le

³⁵ 22^e pétition de Jacques BESSON, « Livre de la plus part des instrumens et machines », *op. cit.*

³⁶ L'atomisme, qui considère que la nature est composée à partir de tout petit corps s'oppose à la théorie scholastique des éléments. Sur ce point voir « Etudes sur l'atomisme (XVI^e-XVII^e siècles) », *Revue d'histoire des sciences*, 2002, vol. 55, n° 2. Disponible sur Persée. Notons que c'est là l'une des raisons de la condamnation de Giordano Bruno.

³⁷ Sur les propriétés du travail mécanique comme concept, voir François VATIN, *Le travail : économie et physique, 1780-1830*, Paris, Presses universitaires de France, coll. « Philosophies, ISSN 0766-1398 ; 42 », 1993, 127 p. Cette « pétition » rappelle aussi la foi dans l'effet démultiplicateur de certains mécanismes. Sur ce sujet, voir Hélène VERIN, « Comme en un infini », *op. cit.*

montrent, Besson pose comme préalable le principe d'addition (« force adjoustee avecques force augmente la force ») et de conservation des forces (« toutes les parties de toute force et mouvement sont tousjours esgales a leur tour »). Ces deux principes sont fondamentaux pour penser la machine comme un système, et sinon calculer, du moins estimer les effets des moteurs sur une machine et donc son rendement.

L'estimation du rendement d'une machine, à la Renaissance, avait cependant déjà fait l'objet de plusieurs travaux de la part de certains mathématiciens. C'est notamment le cas de Gualtherus Rivius dans sa traduction du Vitruve, utilisée par Heinrich Zeising pour rédiger le propos introductif de son premier théâtre de machines. Le texte prend l'aspect de trois parties bien délimitées. Des définitions sur le comportement des corps permettent de poser un système dans lequel des propositions peuvent être énoncées. Ces propositions prennent pour fondement l'équilibre des corps et des machines, et sont suivies d'une série de « propositions », qui sont en fait des exemples, des « exercices » (« Die *Propositiones* oder *Aufgaben* »), qui traduisent ces principes pour des machines idéelles simples, comme le levier ou la balance principalement. De cette introduction, seules les définitions seront reprises par Andréas Böckler, et Leupold, au XVIII^e siècle, suivant un plan similaire, précisera et complètera cet ensemble théorique.

Insistons pour finir sur le quatrième et dernier auteur à introduire son livre de machines par des principes théoriques tirés de la philosophie naturelle. Salomon de Caus se réfère moins à la *statique* renaissante (Cardan faisant exception) qu'à celle développée déjà par les grecs, et notamment Aristote, Archimède et Héron. Au contraire de Besson, il se fonde sur la théorie des éléments et une physique « classique » : aux quatre définitions des éléments et de leurs caractéristiques, l'auteur fait suivre plusieurs théorèmes. Le propos de Salomon de Caus est ici plus resserré mais plus précis que celui de Besson. L'ingénieur normand insiste moins sur les formes, les matériaux ou l'usure des machines, mais focalise son attention sur les forces mouvantes. Nous distinguons ici deux grandes parties. Les théorèmes un à neuf reviennent sur les moyens d'élever l'eau en jouant sur les caractéristiques pneumatiques des éléments, et notamment le fait que « la nature a horreur du vide » pour reprendre l'expression d'Aristote. Mais plus que le philosophe grec, c'est Héron d'Alexandrie qui constitue la référence incontournable de Salomon de Caus. Abondamment en marge, Héron est défendu contre ses détracteurs

dans le théorème neuf, qui critique la fausseté des figures de ces critiques. La seconde partie de cette introduction, les théorèmes dix à seize, revient sur les principes de base de la *statique* en suivant Archimède, Vitruve et Cardan, à l'instar de Zeising quelques années auparavant.

Notons, chez Caus, une insistance particulière sur le temps d'action des machines. Cette insistance se retrouve dans plusieurs théorèmes, et particulièrement dans le douzième. Salomon de Caus, comme Zeising avant lui et surtout Leupold après lui, ne compte en réalité pas le temps lui-même mais l'espace parcouru par un point du levier (principe de base de toute *statique* archimédienne) pour en soulever un plus grand. Il argue ainsi du fait que si l'usage d'un large bras de levier permet de soulever un grand poids avec un petit, il faut que le petit parcourt plus de distance, et donc *a priori*, mette plus de temps à réaliser son effet. De la même façon, un moufle avec de nombreuses poulies nécessite de dérouler plus de corde et un treuil ou une grue avec de nombreux pignons nécessite plus de tours de manivelle (et donc *a priori* plus de temps)³⁸. Ces affirmations le conduisaient d'ailleurs, dans sa préface à critiquer Jacques Besson ou Agostino Ramelli pour ce qu'ils ne prennent pas en compte le temps dans l'usage de leur machines et multiplient de façon inconsidérée les engrenages à roue dentée. Cette assertion, qui vise à attirer le lecteur sur la question du temps, est pourtant fausse. Sur toutes les machines de Besson, seules huit machines utilisent des engrenages (13%), et aucune d'elle n'utilise plus de deux engrenages. La critique serait un peu plus valable chez Ramelli, dont 125 machines usent d'engrenages (64%), dont 36 (29% ou 18% du total) plus de deux engrenages sur la même machine³⁹.

Mais cette attention sur le temps comme espace parcouru est en réalité un point classique de la *statique* renaissante. La grande originalité de Salomon de Caus, et le second point sur lequel nous aimerions insister, est l'introduction de l'expérimentation comme preuve. Pour chaque théorème, l'ingénieur propose en effet de petits dispositifs expérimentaux, qu'il décrit avec le même luxe de détail que ses machines. Comme plus

³⁸ Nous voyons que ces calculs ne prennent absolument pas en compte la vitesse du moteur, son couple, mais considère celle-ci constante, à puissance différente. Il n'y a donc aucune considération quant à la vitesse d'exécution, ni de recherche d'un optimum espace/temps, pour l'exécution la plus rapide.

³⁹ Ces résultats sont obtenus grâce à une requête « usage élément » créée dans la base de données « Machines » décrite dans Annexe 4 : « La base de données « Machines 1.7 » », p. LV.

tard chez Robert Boyle, le témoignage écrit vise à montrer que ces dispositifs ont existé et ont fonctionné. Ce ne sont pas des expériences de pensée. Pour autant, Salomon de Caus n'est pas dans l'expérimentalisme de la science moderne. Il est bien plutôt dans la continuité d'une science scholastique qui s'appuie sur des moyens nouveaux d'argumentation. Les expérimentations de de Caus ne lui servent pas à déduire des principes plus généraux, c'est l'inverse : chaque dispositif est pensé comme un « exemple », une façon de prouver un théorème énoncé *a priori*. C'est par exemple le cas du second théorème, qui réfute l'atomisme d'Epicure, qui considère l'existence d'un vide entre les atomes. Le dispositif proposé consiste en un récipient clos, qu'on remplit d'eau (pour y chasser tout l'air), que l'on referme étanchement, et que l'on perce vers le dessous. L'eau ne s'écoule pas. Pour Salomon de Caus, cela prouve que le vide ne peut pas se créer dans le récipient. En effet, en s'écoulant, l'eau aurait « laissé la place au vide », si elle ne s'écoule pas, c'est donc que le vide ne peut se faire⁴⁰. Salomon de Caus ne cherche pas une explication à l'expérimentation, il utilise l'expérimentation comme une explication.

Cet usage de l'expérimentation vient du fait que la vue et l'expérience réelles des choses sont garantes de la justesse d'un propos, à la Renaissance. Nous en trouvons d'ailleurs un témoignage dans les « additions » de Paschali au livre de Besson. Celui-ci, à propos de la fontaine perpétuelle⁴¹, dit : « Le demeurant, je le tais, ne l'ayant encor expérimenté ». Paschali ne veut pas dire ici qu'il n'a pas réalisé d'essai, mais qu'il n'a pas l'expérience de cette machine, n'a jamais pu la voir ou l'observer⁴². L'expérimentation de Salomon de Caus est certes très originale, en ce qu'il pense à l'avance un dispositif, mais celui-ci ne vise pas à vérifier une hypothèse, mais à apporter l'expérience concrète au lecteur de ses principes. Cette vision, *ante*-scientifique de l'expérimentation et son attachement à la physique aristotélicienne expliquent sans doute la brève vie de sa diffusion par rapport à celle de Besson et Ramelli (voir partie III).

⁴⁰ En réalité, c'est une différence de pression entre l'air extérieur et l'absence d'air à l'intérieur qui explique le phénomène. Le haut du récipient aurait pu être vide d'air, le résultat aurait été similaire.

⁴¹ Voir *infra* Figure 19 : p. 249.

⁴² Pascal BRIOIST, « La diffusion de l'innovation... », *op. cit.*.

Quoiqu'il en soit tous les auteurs échouent à expliquer leurs machines à l'aide des principes énoncés, y compris Salomon de Caus, qui essaie, plus que d'autres, d'associer ses principes à la description de ses machines. Non seulement l'éternelle contrariété des choses matérielles défie la science de la Renaissance, encore insuffisante pour expliquer tout ce qui est en jeu dans une machine, mais c'est surtout que l'explication scientifique, la critique, comme dira Vico, ne permet pas de concevoir de nouvelles machines. En effet, ces savoirs ne peuvent venir qu'après, pour vérifier le fonctionnement d'une machine, voire en effectuer le réglage, avant sa construction certes, mais dans une phase ultérieure à l'invention. Le choix du catalogue, forme dérivée et détournée des topiques précédentes, s'explique par cette nécessité de montrer des exemples concrets de machines pour compléter une théorie qui, seule, ne permet pas de concevoir des machines. Cette unité dans la présentation cachait donc une évolution inaboutie, et qui se développera principalement en Allemagne, et aboutira avec Jacob Leupold.

Partie III : Technologie et théâtres de
machines : l'œuvre de Jacob Leupold
(1724-1727)

Chapitre 9 : Ambition d'une technologie camérale

Peu de choses ont été écrites sur les œuvres de Jacob Leupold, et presque rien en français. La plupart des publications qui le mentionnent ne le font qu'à la marge d'une recherche : un heureux détour, une simple référence. Il faut tout de même noter quelques études biographiques en Allemagne et de rares recherches focalisées sur ses *Theatri*, appelant à leur réédition et à leur traduction, et ne cherchant à présenter qu'une partie de l'œuvre. Seule la thèse de George Wilfried Lockett¹ semble aujourd'hui rendre compte des *Theatri* de Leupold dans une perspective globale, quoique focalisée sur son approche des ouvrages hydrauliques. En pointant les erreurs et les approximations de l'auteur, en décrivant l'ensemble de l'œuvre, et en offrant plusieurs extraits en annexe, cette thèse fournit un guide utile à toute lecture de cette œuvre protéiforme, mais peine à rendre compte de tous les objectifs de Jacob Leupold, et à l'inscrire dans la longue tradition des théâtres de machines.

Ce sont ces lacunes que cherche à combler les chapitres suivants. Aussi précisons tout de suite un point crucial : nous ne tentons pas ici une étude exhaustive de toute l'œuvre de Leupold. Au contraire, nous préférons insister sur les objectifs qu'il développe et la méthode générale qu'il met en place, et en quoi ils s'inscrivent dans la continuité ou la rupture de la tradition des théâtres de machines précédents. C'est pourquoi nous avons délaissé les tomes publiés de façon posthume, qui complète le projet de Leupold sans rien lui apporter de nouveau, pour focaliser nos recherches sur ses premiers livres, et notamment sur le premier, qui s'est avéré extrêmement riche en enseignements.

En un mot, le projet de Leupold vise à fournir aux ingénieurs un enseignement technique pointu, fondé sur une pensée technologique, alors en pleine élaboration dans l'espace allemand. C'est à la compréhension des sources de ce fondement épistémologique que s'attache ce chapitre. Nous verrons d'abord que Leupold s'inscrit explicitement dans la tradition des théâtres de machines, avant de voir comment il

¹ George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*

cherche à s'en démarquer par une plus grande rigueur, ce qui l'amène à parfaire les traits de l'ingénieur idéal, qui n'avaient été qu'esquissés dans les ouvrages précédents.

Les *Theatri* de Leupold et les théâtres de machines

Dans la préface de chaque tome, ainsi que dans plusieurs descriptions de machines, Leupold met un point d'honneur à citer les auteurs dont il s'inspire, autant pour les mettre en avant que pour souligner, par contraste, ses propres apports aux savoirs mécaniques. Le premier tome apparaît ici à part, et j'y reviendrais, car, dans sa volonté affichée de donner les principes fondamentaux de la mécanique, Leupold s'appuie sur une tradition théorique de mathématiciens. De la même façon, son septième tome sur les ponts fait exception, s'appuyant principalement sur des ouvrages théoriques français, et notamment le *Traité des ponts* d'Henri Gautier², ingénieur français des ponts et chaussées. Je montrerai en quoi cet intérêt pour les mathématiciens ou les écrits de théoriciens français entrent dans le cadre de la mise en place d'une technologie camérale spécifique au monde germanique.

Concentrons-nous, pour le moment, sur les liens tissés entre cette œuvre nouvelle et la tradition séculaire des théâtres de machines. Il y a d'abord le titre même de la collection, que Leupold explique dès les premiers mots de sa préface :

« Ce livre aura comme *titre*, comme toutes les parties qui suivront, celui de *theatrum* ; en partie parce qu'en lui-même, comme dans un théâtre public, il dressera pour les yeux non seulement les *fondements* et les principes de la mécanique par des lignes et des *figures*, mais aussi, par le catalogue et les explications *fondamentales*, de nombreuses *machines* et de nombreux *instruments*, au gré de chacun d'entre eux, comme [s'ils étaient] à contempler sur un *theatro* public ; et en partie [...] pour cette raison, que presque tout le monde connaît sous ce titre différents livres, qui traitent également de *machines*. »³

Deux choses constituent donc, pour Leupold, les théâtres de machines : le fait qu'ils soient des lieux de monstrations du savoir mécanique d'une part, et le fait qu'ils

² Hubert GAUTHIER, *Traité des ponts*, Paris, André Cailleau, 1723.. Expliquer que c'est un ingénieur des ponts et chaussées. Sur ce point, voir George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. 24.

³ Préface du TM1. Texte original : „Es wird dieses Buch auf dem *Titul*, gleich wie alle nach folgende Theile, ein *Theatrum* benennet, theils weil in demselben, als in einem öffentlichen Schauplatz, nicht nur die *Fundamenta* und Grundsätze der *Mechanic* durch Linien und *Figuren*, sondern auch durch Verzeichniss und *fundamentale* Erklärungen vieler *Machinen* und *Instrumenten*, jedermann dieselben nach Belieben, als auf einem öffentlichen *Theatro* zu betrachten, vor Augen gestellt werden; und theils hat man dieses Wort *Theatrum* darum beliebt, weil unter diesem *Titul* schon unterschiedliche Bücher, die ebenfalls von *Machinen* handeln, fast jedermann bekandt sind.“

constituent une tradition, dont la dernière phrase (« presque tout le monde ») témoigne de la célébrité. Pour autant, au vu de la méthode si particulière de Leupold et malgré cette inscription clairement établie, M. Lockett pose dans sa thèse la question de savoir si « le *Theatrum* de Leupold est vraiment un *Theatrum* »⁴. Réduisant l'aspect des théâtres antérieurs, traduits en allemand par *Schauplätze*, à celui de « *picture-book* », il montre le contraste qu'offre l'originalité de l'œuvre de Leupold, aux forts appuis théoriques par rapport aux théâtres de machines.

Revenant ainsi sur la tradition renaissante des théâtres de machines, M. Lockett s'appuie sur les publications d'Alexander Gustav Keller⁵ et prend Besson, Ramelli, Veranzio et Zonca comme principaux référents pour une comparaison. Il rappelle certes que Leupold pioche allégrement dans ces anciens ouvrages et utilise beaucoup l'illustration, mais son analyse met surtout l'accent sur les différences : une sélection des machines fondée sur la simplicité, contre une débauche d'inventions ingénieuses ; un format déterminé par le sujet contre un format déterminé par les images ; un volume entier dédié à la théorie contre une absence de discours théorique. Par ailleurs, il montre combien Leupold se rapproche des encyclopédies qui paraissent tout au long du XVIII^e siècle et du début du XIX^e siècle, critiquant simplement un certain « verbiage » inutile. Finalement, M. Lockett fait de l'œuvre de Leupold le dernier des théâtres de machines pour le titre et la première des encyclopédies mécaniques pour le style⁶, considérant les *Theatri* de Pierre Schenck comme trop spécialisés dans les travaux hydrauliques pour être considérés comme des théâtres de machines.

Les œuvres de Leupold peuvent en effet être considérées comme marquant une transition, mais l'analyse de Lockett, accentuant la rupture, ne perçoit pas la continuité conceptuelle des théâtres de machines renaissants et de l'œuvre de Leupold. Cette dernière pêche par une vision monobloc des théâtres. En faisant de Besson et Ramelli les parangons d'une tradition séculaire, il s'empêche de bien saisir les origines de l'évolution du genre proposée par Leupold, à chercher du côté de théâtres de machines allemands.

⁴ George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, chapitre 9.1 : « Is Leupold's *Theatrum* really a *Theatrum* ? ».

⁵ Alexander Gustav KELLER, *A Theatre of machines*, *op. cit.*.

⁶ « "comprehensive illustrated books of machinery" », George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. 261

Dans cette tradition particulière, le projet encyclopédique était déjà très présent. Les machines faisaient l'objet d'une classification sommaire par « sujet » et d'une première sélection. L'existence d'un premier volume entièrement consacré à la théorie, dans lequel Lockett voit l'innovation majeure, s'inscrit en réalité dans la continuité du discours préliminaire d'Heinrich Zeising, dont l'œuvre institue les débuts de cette tradition germanique. Leupold ne dit-il pas lui-même que Zeising est un des premiers à donner beaucoup de règles et de principes, expliquant les rapports du levier et les mouvements de la chute des corps dans la première partie de ses *Theatri machinarum*⁷ ?

Par ailleurs, il défend aussi l'idée que ses livres sont des lieux de monstration, des théâtres publics sur lesquels il dresse pour les yeux principes, instruments et machines. Comme dans les « anciens théâtres »⁸, il montre sans chercher à démontrer, il donne à voir de nombreuses machines, de nombreuses façons de faire. Du paradigme topique des anciens théâtres, Leupold garde donc l'idée de scène, comme Böckler l'avait fait avant lui (voir le frontispice de Böckler en Annexe 3 : p.XLII), et il instaure ici une parenté de pensée qui témoigne de la longévité de ce genre littéraire, encore perçu, quoiqu'on en dise, comme le genre majeur de mise à disposition d'un savoir mécanique.

Cependant, on voit bien combien change le point de vue : ce n'est plus une topique, ou des inventions, mais un catalogue de machines et d'instruments ; et si le mot "catalogue" renvoie en effet à la scénographie des cabinets de curiosités, (et au commerce), il s'agit avant tout d'un souci d'exhaustivité, de classification et de clarification. C'est la fusion de l'ancienne littérature, qui voyait dans un agencement topique la meilleure manière de formaliser un savoir conceptuel, et de la nouvelle, qui cherche une théorie englobante à la compréhension des machines, qui donne à l'œuvre de Leupold toute son originalité.

Son objectif est ici de rendre compte, de façon la plus exhaustive possible, des potentialités mécaniques, tout en les corrigeant et en les éclairant, pour que les lecteurs

⁷ Préface du TM 1 : „Zeising hat solchen [les principes de la statique] seinen erstent Theil des *Theatri Machinarum* vorgesetzt, darinnen sind viel Regeln und Grundsätze, so meist die Verhältniß des hebels und die Bewegung der Körper erklären; aber demjenigen, der gerne *Theorie* und *Praxin* zugleich erlernen will, wenig dienlich.“ Rappelons que Zeising publie lui aussi son ouvrage à Leipzig, en Saxe.

⁸ C'est une expression de Leupold lui-même, dans la préface du TM3 : « aus denen alten *Theatris*, nemlich des *Ramelli*, *Zeising*, *Bessonii* und anderer... »

s'inspirent des bonnes idées, tout en évitant qu'ils ne cherchent dans les anciens théâtres de machines des solutions qui n'en sont pas :

« En effet, puisque les arts de l'eau conduisent tous les jours de nouveaux artistes à prétendre faire de grosses et puissantes choses, et à promettre d'indescriptibles avantages, alors qu'il s'agit souvent d'inventions oubliées, vieilles et inutiles, tirées des vieux théâtres, à savoir ceux de Ramelli, de Zeising, de Besson et d'autres, et qu'ils ne comprennent pas suffisamment [...] de sorte qu'il est nécessaire que, lorsque cela est possible, on représente toutes ces inventions, et place clairement les fautes devant les yeux [...] et montrer comment certaines ne servent à rien, et d'autres servent à quelque chose, et comment les améliorer. »⁹

Il s'agit donc à la fois d'éclairer et d'opérer une sélection dans la tradition antérieure, qui n'est pas reniée en bloc, mais qui mérite d'être revue. Le rapport de Leupold aux théâtres de machines est donc celui d'un bilan, mieux, celui d'un jugement et d'un tri. Dans une autre préface, Leupold cite encore les anciens théâtres pour en écarter la plupart des machines, tout en admettant que ce sont les seuls ouvrages à avoir véritablement traité du sujet, et qu'il se doit donc ici, de les mettre en lumière :

« J'enseigne ici un grand nombre des meilleures et plus récentes machines, dont quelques unes n'ont vraiment pas été décrites, et dont la plupart, et même les principales, ne se trouve que dans des livres précieux et étrangers, tel que jusqu'à cette date, à part ceux-là, aucune collection complète n'a encore été mise en lumière. Il pourrait y en avoir bien deux fois plus encore, si je citais toutes les façons, qui ne se trouvent que dans ces célèbres *Theatris* ; mais elles sont, la plupart du temps, d'une composition irréflectée... »¹⁰

La suite de la citation entre dans le cadre de la « critique scientifique », telle que la définissent Hélène Vérin et Louisa Dolza¹¹, c'est-à-dire que la mauvaise composition des machines témoigne d'une incompréhension des « pères de la mécanique », des théories mécaniques mises en place par les grands mathématiciens antiques (Archimède, Vitruve). Cette critique remonte à Salomon de Caus, et traverse, de façon plus ou moins

⁹ Préface du TM3. Texte original : „Denn weil die Wasser-Künste [...] täglich sich neue Künstler hervor thun, die gewaltig grosse Dinge vorgeben, und unbeschreiblichen Nutzen versprechen, aber wenn es dazu kommt, öffters nur aus denen alten Theatris, nemlich des Ramelli, Zeisings, Bessonii und anderer, eine alte verlegene und unbrauchbare bishero unbekandte Invention, die sie selbst nicht einmal genugsam verstehen, erschnappet haben [...] so ist es desto nöthiger dass man, wo es möglich, alle solche Inventiones darstellte, und die Fehler darinnen deutlich vor Augen legte [...] da aber gezeigt, wie solche gar nichts, andere aber nur etwas dienen, auch wie selbige zu verberßern.“

¹⁰ Texte original, préface TM5 : „Wie ich nemlich hierinnen eine ziemliche Anzahl der neuesten und vornehmsten Maschinen beigebracht, die theils gar nicht sind beschrieben gewesen, theils aber in vielen, und zwar die meisten, in ausländischen und kostbaren büchern nur gefunden werden, dass also bis *Dato*, ausser dieser, noch keine dergleichen *complete Collection* zum Vorschein kommen. Es hätten derer wohl noch zweimal so viel sein können, wenn ich alle Arten, die nur in denen bekandten *Theatris* gefunden werden, anführen wollen...“

¹¹ Luisa DOLZA et Hélène VÉRIN, « Figurer la mécanique », *op. cit.*

prononcée toute la tradition allemande de théâtres de machines. À cela s'ajoutent, tout au long du livre, de nombreuses critiques « techniques », notamment sur le coût de fabrication et d'entretien de telles machines.

D'une certaine façon, en (re)mettant en lumière les principes qui fondent les machines, Leupold procède à une actualisation de la tradition des théâtres de machines, ou, plus précisément, à une actualisation des savoirs qui permettent d'expliquer et de rendre compte des machines, car « pour ceux qui veulent mêler la *théorie* à la *pratique*, ils [les principes développés par Zeising] sont de peu d'utilité »¹² ; reproche fait à plusieurs autres auteurs. De cette façon Leupold s'appuie bien sur la tradition antérieure des théâtres de machines comme source documentaire, et garde du mode d'exposition l'idée de la mise en scène des principes, des explications, des instruments et des machines, mais il emprunte à d'autres auteurs la méthode d'investigation et d'écriture.

Il faut ici mentionner un mode d'acquisition et d'exposition des connaissances dont Leupold est l'héritier direct : la « réduction en science » d'Agricola. L'auteur du *De Re Metallica* est en effet de la même région que Leupold, et les rééditions de ses livres sur les mines et le travail du métal ont très largement influencé la pensée technique des élites de la Saxe (et de l'Europe). Bien que Leupold ne cite pas Agricola dans les préfaces¹³, il ne pouvait ignorer son œuvre, lui qui prévoyait, nous l'avons vu, de rédiger un *Theatrum* sur les machines minières (voir « Les *Theatri* de Jacob Leupold : l'aboutissement du genre (1724-1727) », p. 79), et dont l'emploi de commissaire aux mines de Saxe l'amenait à visiter ces imposants établissements. Or le *De Re Metallica*, s'il reprend toute l'argumentation de la réduction en art (rassembler et mettre en ordre par écrit, et de façon pédagogique, des savoirs épars), va plus loin, en cherchant, dans l'observation des métiers, à mettre en évidence les principes fondateurs d'une science entière et globale des mines¹⁴. Et que fait Leupold avec les théâtres de machines si ce n'est rassembler et mettre en ordre des savoirs dispersés ? Si ce n'est les soumettre à une raison capable

¹² « Préface », TM1. Texte original : „aber demjenigen, der gerne *Theorie* und *Praxin* zugleich erlernen will, wenig dienlich.“

¹³ Dans les préfaces des livres portant sur la mécanique, l'hydraulique et les machines élévatoires. Son livre sur les mines n'a jamais été publié, et aurait sans doute fait référence à Agricola.

¹⁴ Anne-Françoise GARÇON, « Réduire la mine en science... ? », in Hélène VERIN et Pascal DUBOURG GLATIGNY (dirs.), *Réduire en art. La technologie de la Renaissance aux Lumières*, Paris, Éd. de la Maison des sciences de l'homme, 2008, pp. 293-317.

d'englober tous les savoirs liés aux machines ? Si ce n'est en tirer de nouvelles règles, de nouvelles normes, et compléter ainsi une science globale des machines dans leurs différents domaines ? Même l'objectif d'insérer ce savoir dans une volonté de bonne gestion d'un domaine lui est commun avec son compatriote. Une différence les sépare cependant : les principes qu'utilise Leupold sont posés *a priori*, à partir d'une autre tradition, plus savante que celle des théâtres, celle qui suit la publication de la *Statique* de Simon Stevin.

La démarche de Leupold semble descendante, des principes vers les exemples, alors que celle d'Agricola était encore globalement ascendante, des observations aux principes. La démarche n'est pas si nouvelle, et plusieurs mathématiciens comme les Sturm¹⁵, ou Christian Wolff, s'y étaient essayés. Pourtant,

« Il est beaucoup à déplorer que de tels livres ne soient connus que des érudits, et pour cause : sous ce genre de titre, cela n'attire pas les autres qui ne font pas profession des mathématiques [...] Ces *théâtres* devraient désormais, espérons-le, remédier à ce manque de tels livres et le combler. »¹⁶

La remarque est intéressante. Leupold voit dans la tradition des théâtres de machines, dont les ouvrages sont connus et recherchés, un moyen de mieux diffuser un savoir déjà existant, une sorte de marque commerciale. Il doit cependant obéir ici aux règles des théâtres de machines. Cette démarche, qui a permis à Leupold d'avoir sur les inventions proposées dans les théâtres un regard critique, si elle n'est pas totalement nouvelle, est alors systématisée.

Pour bien comprendre cette systématisation, il faut se replacer dans le contexte intellectuel de l'empire germanique du début du XVIII^e siècle. Se relevant difficilement des conséquences de la guerre de trente ans (1618-1648), les nouveaux États-nations de l'Est germanique, comme la Saxe ou la Prusse, connaissent, au début du XVIII^e siècle, un renouveau intellectuel, dont Leibniz est sans doute le meilleur représentant. Conscients du changement radical de paradigme qu'introduit la nouvelle physique expérimentale, et qu'on a pu appeler la « révolution scientifique », les élites intellectuelles allemandes

¹⁵ Johann Christoph Sturm et son fils Leonhard Christoph Sturm sont deux mathématiciens allemands de la seconde moitié du XVII^e siècle. Le second est sans doute plus tourné vers la mécanique et les machines que le premier.

¹⁶ Préface TM1. Texte original : „Es ist sehr zu bedauern, daß solches Buch nur denen Gelehrten bekannt, Ursach : weil es unter diesem *generalen Titul*, andern, die keine *Profession* von der *Mathematic* machen, nicht vorkommet [...] Den Mangel solcher Bücher soll nun hoffentlich diese *Theatrum* ersetzen und abhelfen.“

fondent des académies et des universités. Dans un contexte de formation des identités nationales, ces fondations sont largement soutenues par les pouvoirs en place. L'idée se fait jour de compléter la doctrine économique dite caméraliste, du nom du système de chambre qui régit la plupart des États allemands, pour en faire une véritable science de gouvernement, qui mêle administration, police, et économie. C'est cette partie qui devrait comprendre l'étude des arts et des manufactures. Cette science se constitue petit à petit en une véritable discipline, dont le souverain prussien Frédéric-Guillaume 1^{er} en créera deux chaires, l'une à Francfort, l'autre à Halle, en 1727. L'année d'après, Christian Wolff, qui avait fui de Halle à Marbourg, publie son *Philosophia rationalis sive logica*, dans lequel il jette les bases d'une science des arts, fondée non sur la description des gestes, comme dans la réduction en art, mais sur la mise en évidence des règles et des « principes » de ces arts, et qu'il nomme technologie, faisant ici d'une philosophie de la connaissance empruntée à Johann Heinrich Alsted, une philosophie de l'action¹⁷. Récupérée dans les années 1770 par Johann Beckmann, professeur à l'université de Göttingen, la technologie se constitue à la suite de Wolff en une science à part entière, mère de la science industrielle du XIX^e siècle¹⁸.

Certes, en 1728, sept tomes des *Theatri* étaient déjà parus et Leupold était déjà mort, mais le reste de l'œuvre de Wolff, dont il était l'ami¹⁹, et la réflexion sur la nécessité d'une science de gouvernement incluant une science des arts, ne pouvait lui échapper. Aussi, bien qu'intervenant dans la décennie précédant l'institutionnalisation du caméralisme et de la technologie du XVIII^e siècle, Leupold, par sa volonté de réaliser une œuvre générale sur la connaissance des machines, participe pleinement de ce mouvement.

Théâtres de machines, livres de *statique* et de mathématiques, *De Re Metallica*, caméralisme, ou encore technologie, les sources conceptuelles de Leupold sont nombreuses, et il reste à voir comment se sont déployées toutes ces influences dans la

¹⁷ Cette discipline n'est pas à confondre avec le régime technologique de la pensée opératoire, beaucoup plus large. Voir Anne-Françoise GARÇON, « The three states of technology: an historical approach to a thought regime, 16th - 20th centuries », *op. cit.* et *infra* « Qu'est-ce que la technologie ? », p. 322.

¹⁸ Jacques GUILLERME et Jan SEBESTIK, « Les commencements de la technologie », 2007, nouvelle série, n° 14, pp. 49 -122 ; Hélène VERIN, « La technologie : science autonome ou science intermédiaire ? », *Documents pour l'histoire des techniques*, 2007, nouvelle série, n° 14, pp. 134-143.

¹⁹ Christian Wolff lui-même, dans la préface qu'il rédige en 1740 à l'édition allemande de l'*Architecture hydraulique* de Bélidor, dit de Leupold qu'il était un « bon ami », dont il déplore la mort précoce. Voir George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. 263.

mise en place de cette œuvre originale. Car, empruntant à chacune des traditions sans s'inscrire totalement dans aucune, les *Theatri* de Leupold forment la première étape d'une transition qui amènera les ingénieurs continentaux à mettre en place une science des machines, que tous les ingénieurs appelaient déjà de leurs vœux.

Qu'est-ce que la technologie ?

Le mot technologie peut facilement prêter à confusion, d'autant que son sens n'a cessé de se modifier depuis la Grèce antique, et surtout depuis le début du XIX^e siècle, jusqu'à nos jours, où comme le dit Jacques Guillaume, il ne s'est imposé « qu'alourdi de gloses, dans un faisceau de définitions concurrentes »²⁰. Il n'est question ici de retracer ni l'histoire du mot, ni l'histoire de la discipline ou de la pensée technologique, pour lesquelles nous renvoyons aux travaux de Jacques Guillaume, Jan Sebestik, Hélène Vérin, et Anne-Françoise Garçon²¹, mais il s'agit de faire quelques distinctions et de poser l'état du projet technologique au début du XVIII^e siècle.

Première chose, la technologie n'est absolument pas, dans notre discours, synonyme d'une « technique moderne et complexe », ni synonyme d'une simple terminologie raisonnée²², à la rigueur, nous préférons encore la définition de « théorie générale et études spécifiques des techniques » du Petit Robert²³.

Deuxième chose, il convient de dresser rapidement les différents stades de l'institution de la technologie comme discipline depuis la Renaissance : d'abord partie de philosophies de la connaissance qui définissent les contours et l'ordonnement des savoirs pour Pierre de La Ramée ou Johann Heinrich Alsted, la technologie n'est alors pas particulièrement liée aux techniques. De là, le concept en vient à désigner une science de l'action, développée notamment par le philosophe et mathématicien allemand

²⁰ « Les liens du sens dans l'histoire de la technologie » dans Jacques GUILLERME, Valérie NEGRE et Hélène VERIN, *L'art du projet : histoire, technique et architecture*, Wavre (Belgique), Mardaga, 2008.

²¹ Jacques GUILLERME et Jan SEBESTIK, « Les commencements de la technologie », *op. cit.* ; Jan SEBESTIK, « Les commencements de la technologie. Postface/préface », *Documents pour l'histoire des techniques*, 2007, nouvelle série, n° 14, pp. 123-133 ; Hélène VERIN, « La technologie : science autonome ou science intermédiaire ? », *op. cit.* ; Anne-Françoise GARÇON, « The three states of technology: an historical approach to a thought regime, 16th - 20th centuries », *op. cit.* Les trois états de la technologie sont le « bien faire » ou *eupraxie*, l'ordre raisonnée, et la technique assumée.

²² Jacques Guillaume, « Les liens du sens... », *op. cit.*

²³ Article « technologie » du *Nouveau petit Robert*, 2004.

Christian Wolff²⁴, qui influence toute la pensée européenne du XVIII^e siècle. À partir de cette philosophie, Johann Beckmann fait de la technologie une science ordonnée des arts et métiers, à visée pédagogique et économique. Ce projet se divise ensuite en deux chemins, l'un qui rétrécit la portée de la technologie et aboutit à la construction d'une science industrielle ou plutôt de sciences industrielles particulières, et l'autre qui échoue sans cesse à constituer la technologie en science autonome, en tentant de garder un ordonnancement propre et l'aspect systémique de la pensée technologique, notamment dans la définition de classes d'opérations.

Troisième chose, il faut bien distinguer le sens restreint de la technologie, comme discipline instituée en Allemagne au XVIII^e siècle (avec ses origines et ses ramifications), et le sens général de la technologie, qui peut désigner, à la suite de l'étude globale qu'en a faite Anne-Françoise Garçon, un régime de la pensée opératoire²⁵. Dans le premier cas, nous utiliserons simplement le nom commun *technologie*, et dans le second cas, nous préférons utiliser l'expression de *régime technologique*. La technologie de Beckmann (comme celle de Wolff, de Ramus ou de Cicéron) n'est qu'une traduction, située dans le temps et l'espace (ici occidental), d'un régime technologique de pensée opératoire, c'est-à-dire d'une façon de penser l'action, et plus particulièrement les techniques, qui se définit par un certain nombre de constantes qu'Anne-Françoise Garçon résume ainsi :

« La pensée technologique ne s'est limitée ni à la mise au point d'un langage, ni à la description ordonnée des métiers. Ce fut d'emblée une pensée systémique et normée, qui s'est appauvrie lorsque son champ d'intervention s'est rétréci à l'industrie. Dans tous les cas cependant, elle présente des constantes cognitives, dont l'existence donne à penser qu'il s'agit d'un régime de pensée [...] : 1) la pensée technologique n'oppose pas la théorie à la pratique. Elle s'est constamment affirmée comme un régime intermédiaire, pour ne pas dire hybride, qui pense la pratique en la théorisant²⁶ [...] 2) La pensée technologique est fondamentalement liée à la pensée encyclopédique, conçue comme la systématisation assumée des savoirs dans un agencement dynamique qui fasse retour sur eux²⁷ [...] 3) C'est fondamentalement une pensée de surplomb cognitif, qui fut d'abord grammatical, puis philosophique et pédagogique [...] 4) Enfin, c'est

²⁴ Je ne mentionne pas ici une tradition anglaise, issue du puritain William Ames, et pour laquelle je renvoie à l'article d'Anne-Françoise GARÇON, « The three states of technology: an historical approach to a thought regime, 16th - 20th centuries », *op. cit.*

²⁵ Voir *infra* note 23, p. 70.

²⁶ Anne-Françoise Garçon cite, outre Wolff ou Borghis, l'article art de Denis Diderot « tout art a sa pratique et sa spéculation ». Pour compléter ce point, voir Hélène VERIN, « La technologie : science autonome ou science intermédiaire ? », *op. cit.*

²⁷ Comme par exemple l'encyclopédie d'Alsted, les encyclopédies britanniques ou encore l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert.

par essence une pensée travaillant à la mise à jour des règles et des normes opératoires, les normes de l'action finalisée, du langage à l'outil... »²⁸

Wolff et le modèle d'une technologie qui ne dit pas son nom

Bien que le mot n'y soit pas l'œuvre de Leupold s'inscrit pleinement dans le large courant de pensée technologique. Plus précisément même, il semble que le marchand d'instruments scientifiques soit largement influencé par la pensée et les premiers ouvrages de son ami Christian Wolff, pensée qu'il souhaite mettre à disposition de tout un chacun, comme il le dit dans la préface de son premier *Theatrum* :

« Le dernier écrit en date sur la question [des principes généraux du fonctionnement des machines] a été publié par monsieur le conseiller Christian Wolff [...], dans ses *Anfangs-Gründen aller Mathematischen Wissenschaften* [*Fondements de toutes les connaissances mathématiques*], publié d'abord en 1710 et une autre fois en 1717, en in-octavo à Halle. De la mécanique, ou art du mouvement, il a décrit et expliqué, d'une façon certes courte, mais très simple et claire, non seulement les fondements, mais aussi la raison et la préparation de nombreuses machines, avec beaucoup d'autres remarques diverses et utiles. »²⁹

Christian Wolff n'a alors pas encore écrit, dans le latin qui convient à une large diffusion dans la république des lettres européennes, son *Philosophia rationalis sive logica*³⁰, dans lequel il explique son concept de technologie³¹. C'est qu'il s'agit là, comme l'indique son nom, d'un ouvrage de portée philosophique, qui n'est pas destiné à mettre directement en pratique cette technologie. L'ouvrage que cite Leupold est, quand à lui, en allemand, « car il doit être au service des allemands »³², et s'adresse plus particulièrement aux étudiants de mathématiques³³. Le mot technologie, à connotation

²⁸ Anne-Françoise GARÇON, « The three states of technology: an historical approach to a thought regime, 16th - 20th centuries », *op. cit.* Nous avons ajouté les notes. La citation n'est pas une traduction, car l'auteur nous a donné accès à son tapuscrit en français. Nous l'en remercions.

²⁹ TM 1, préface. Texte original : „Die neueste Schrifft hiervon hat herr hofRath Christian Wolff [...] in seinen Anfangs-Gründen aller *mathematischen* Wissenschaften, so erstlich Anno 1710, und zum andernmahl Anno 1717 zu Halle in 8vo. gedruckt worden, herausgegeben. Ben der *Mechanic* oder Bewegungs-Kunst hat er nicht nur die AnfangsGründe, sondern auch von vielen *Machinen* den Grund und Zubereitung, nebst vielen andern besondern und nüblichen Anmerckungen, auf eine zwar kurze aber doch sehr deutliche und leichte Art, beschrieben und erkläret.“

³⁰ Christian WOLFF, *Philosophia rationalis sive logica*, Francfort, 1728. Nous désignerons désormais ce livre sous le terme de *Logique*.

³¹ Notons cependant que, lors de sa période de relations avec Leupold, il a commencé à poser les premiers jalons du concept de technologie dans Christian WOLFF, *Philosophia practica universalis, mathematica methodo conscripta, indultuque superiorum*, Leipzig, Goezl, 1703.

³² « J'ai écrit ces *Fondements* en allemand, parce qu'ils doivent être au service des allemands. ». Texte original : „Ich habe dieses Anfangs-Gründe Teutsch geschrieben, weil sie unsern Teutschen zu Dienste stehen sollen.“. Fin de la préface de Christian WOLFF, *Anfangs-gründe aller Mathematischen Wissenschaften*, Halle, 1710.

³³ Les *Anfangs-Gründe* ont eu tant de succès, qu'ils ont été réédités de nombreuses fois au cours du XVIII^e siècle. Le livre a été traduit en latin en 1713 ; la même année, il est adapté et raccourci pour devenir un manuel pour les écoles :

trop philosophique, n'y est jamais explicitement employé ; cependant la préface et l'organisation des chapitres témoignent d'une volonté d'appliquer cette théorie que le philosophe est en train de formaliser, et sur laquelle il nous faut revenir un peu plus en détail.

Si nous en croyons Anne-Françoise Garçon, la technologie expliquée par Christian Wolff dans sa *Logique* est l'outil majeur de sa philosophie pratique, qui s'entend non pas comme l'application de la philosophie générale, mais bel et bien comme une autre façon, autonome, de raisonner et de philosopher. Cet outil est en fait une science, « la science des arts et des produits de l'art »³⁴, qui se construit contre la description des gestes et des procédés (réduction en art), et cherche la mise en lumière et l'explication des règles mises en œuvre dans les arts, c'est à dire les principes qui les déterminent et que les ouvriers ne connaissent pas toujours distinctement, bref, leur « spéculation » dirait Diderot³⁵. Cette science wolffienne des arts se caractérise, selon Jacques Guillerme, par l'emprunt de la méthode de la physique expérimentale pour dévoiler les faits latents (les principes), par une classification rationnelle et une description raisonnée des arts, et par une attention particulière à la langue, l'exactitude terminologique étant un moyen de l'efficacité technique.

Or, les mathématiques, telles que Christian Wolff les décrit dans la préface de ses *Anfangs-Gründen*, sont à la fois le fondement et le modèle de cette technologie. Le fondement d'abord, en ce que l'arithmétique, l'algèbre, la géométrie, la trigonométrie et l'art du calcul permettent de mieux comprendre et formuler la plupart des principales sciences et des grands arts mécaniques : mécanique, hydrostatique, aérométrie, hydraulique, optique, catoptrique, dioptrique, perspective, astronomie, géographie, chronologie, gnomonique, artillerie, fortification, et architecture civile sont ainsi étudiées

Christian WOLFF, *Auszug aus den Anfangs Gründen aller mathematischen Wissenschaften*, Halle, 1713. (*Extrait des fondements...*). Le livre est encore traduit et complété en français dans les années 1740 : Christian WOLFF, *Cours de mathématiques: qui contient toutes les parties de cette science, mises à la portée des commençans*, Paris, 1747. Bref, si son ouvrage philosophique (Christian WOLFF, *Logique*, *op. cit.*) a largement influencé la pensée des élites européennes, son ouvrage de mathématiques a diffusé sa pensée et sa méthode parmi les ingénieurs européens.

³⁴ Texte original : « scientia artium et operum artis », cité dans Anne-Françoise GARÇON, « The three states of technology: an historical approach to a thought regime, 16th - 20th centuries », *op. cit.* et dans « Les liens du sens », dans Jacques GUILLERME, Valérie NEGRE et Hélène VERIN, *L'art du projet*, *op. cit.*

³⁵ Cela se rapporte au passage célèbre de l'article « Art » de Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *L'Encyclopédie*, *op. cit.* qui explique que « tout art a sa pratique et sa spéculation ».

dans les *Anfangs-Gründes*. De façon générale, les mathématiques permettraient de formaliser ce que les sens ressentent :

« L'art du calcul, la trigonométrie et l'algèbre ont en eux les maximes générales par lesquelles l'entendement est dirigé. [L'élève] découvrira, à travers ses réflexions propres, la vérité cachée, et comme c'était toucher du doigt, que les sens et l'imagination ne font pas obstacle à la réflexion, mais bien plus adoucissent le dur travail de la compréhension. »³⁶

Dans cette optique, les mathématiques sont un guide des sciences, une méthode de raisonnement, en un mot, une logique formelle. Wolff cite divers écrits de Robert Boyle³⁷ qui défendent l'utilité des mathématiques appliquées aux expériences. C'est en effet par elles que les lois du mouvement en mécanique et hydraulique et les lois des poids en hydrostatique ont été formalisées. Pour Wolff, les mathématiques sont l'arme principale permettant de formaliser les expériences réalisées afin de définir les lois scientifiques, physiques, qui régissent les arts mécaniques. Une idée qu'il exprime encore en 1740 dans la préface de sa traduction allemande de l'*Architecture hydraulique* de Bélidor. L'expérience n'est donc pas une fin en soi : les mathématiques, par un raisonnement déductif et/ou inductif selon les cas, doit pouvoir en rendre compte. Il explique ici que « les Français ont compris que la pratique ne peut pas être complète sans la théorie, et ont créés à cet effet les institutions telles que ceux qui souhaitent devenir ingénieurs soient aussi bien formés à la théorie. »³⁸. L'idée est ici claire : il s'agit de prendre modèle sur la science française – et son Académie royale, à laquelle Bélidor dédie son livre – qui s'intéresse aux développements et à l'application de la physique aux choses matérielles³⁹. En bref, l'idée principale de Wolff est de définir les règles de la pratique par des expériences mathématiquement décrites pour créer une science théorique ayant la nouvelle physique pour modèle.

³⁶ Préface à Christian WOLFF, *Anfangs-gründe*, *op. cit.* Texte original : „Die Rechen-Kunst, Trigonometrie und Algebra halten die allgemeinen Maximen in sich, nach welchen der Verstand geleitet wird, wenn er durch eignes [sic] Nachsinnen die verborgene Wahrheit erfinden will, und wie es anzugreifen sei, dass die Sinnen und *Imagination* in dem Nachdencken nicht hinderlich fallen, sondern vielmehr die saure Arbeit dem Verstande versüssen helfen. Ja die letztere giebet uns eines Muster der vollkommensten Manier eines aus dem andern zu schliessen, zu welchen der menschliche Verstand der Vollkommenheit erstiegen.“

³⁷ Steven Shapin et Simon Schaffer ont montré l'influence de Robert Boyle dans la constitution de la science expérimentale. Voir Steven SHAPIN et Simon SCHAFFER, *Leviathan et la pompe à air*, *op. cit.*.

³⁸ Préface à Bernard Forest de BELIDOR et Christian WOLFF, *Architectura hydraulica*, Augsburg, Mertz, 1740. Cité dans George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. 264.

³⁹ Rappelons toutefois que l'espace technique germanophone est largement industrialisé et fait figure de référence en Europe, c'est ici dans l'organisation des savoirs que Christian Wolff souhaite copier la France. Une organisation des savoirs qu'en transférant en Allemagne, il décrit et rend plus cohérente qu'elle ne l'était sans doute dans la réalité.

Cependant, l'objectif de Wolff est ici pédagogique, et non épistémologique, et ce rôle des mathématiques comme fondement des connaissances se traduit dans l'organisation de son livre, qui se veut un manuel de mathématiques. Ainsi le premier paragraphe de son livre donne-t-il l'ordre dans lequel doivent être organisés les enseignements de mathématiques : d'abord les explications (définitions), puis les principes de base, et de là les théorèmes et les exercices, le tout parsemé de remarques⁴⁰. Une démarche qui s'appuie donc sur ces fameuses maximes, qu'il faut apprendre à connaître et à manier dans les différentes situations où elles s'avèreraient utiles.

Mais cet usage continu des mathématiques et l'apprentissage de ses maximes ne résument pas l'apport des mathématiques à la pensée. En effet, celles-ci forment aussi un modèle à suivre : « l'art d'enseigner les mathématiques donne à apprendre le juste usage de la raison »⁴¹ nous dit Wolff dans la préface de son livre. Pour le philosophe, les mathématiques sont donc aussi une méthode de pensée, qui permet de tirer et d'ordonner des règles générales à partir de cas particuliers ; en bref, les mathématiques sont le modèle d'une pédagogie technologique, comme il l'explique en 1713, dans une version raccourcie de ses *Anfangs-Gründen*⁴² :

« Ils [les débutants] apprendront la différence à faire entre ce qu'ils ont clairement compris et le reste; ils apprendront sans s'en rendre compte, comment extraire un terme général à partir de recherches sur une série d'exemples ; et ils seront bientôt habitués à faire attention à leur actions et omission, ainsi que ne rien faire sans entendement. »⁴³

Comment ne pas reconnaître ici le modèle de cette science des arts, de cet outil de la philosophie pratique que Wolff formalise dans sa *Logique*⁴⁴ ? En effet, les deux citations précédentes précisent un des points cruciaux sur lequel Wolff insiste plusieurs fois, et qui rejoint là encore sa *Logique* : le fait que les sens, que l'expérience des choses, permettent

⁴⁰ Premier paragraphe du premier chapitre des Christian WOLFF, *Anfangs-gründe*, op. cit. Texte original : „Die Lehr-Art der *Mathematicorum*, dass ist, die Ordnung, deren sie sich in ihrem Vortrage bedienen, fängt an von der Erklärungen, gehet fort zu Grund-Sätzen und hiervon weiter zu den Lehr-Sätzen und Aufgaben : überall aber werden Zusätze und Anmerckungen nach Gelegenheit angehänget.“. Notons que la démarche est proche de celle d'un Euclide.

⁴¹ Préface de *Ibid.* Texte original : „Die mathematische Lehr-Art giebt den rechten Gebrauch der Vernunft zuerkennen“.

⁴² Il s'agit de Christian WOLFF, *Auszug...*, op. cit. Voir note 33, p. 324.

⁴³ Préface à *Ibid.* Texte original : „Hierdurch werden sie lernen einen Unterscheid machen zwischen dem, was sie deutlich und undeutlich begriffen ; dabei unvermerkt erlernen, wie man aus einzelnen Exempeln den darinnen verborgene allgemeinen Begriff herausuche; und zugleich sich gewöhnen, auf ihr Thun und Lassen Acht zu haben, auch nichts ohne Verstand vorzunehmen.“

⁴⁴ Christian WOLFF, *Logique*, op. cit..

de faciliter le travail de compréhension que les mathématiques peuvent venir plus tard aboutir et formaliser. Il y a pour Wolff une sorte d'intuition des choses par la pratique régulière et les sens ; une intuition que doivent être capables de saisir les sciences mathématiques, pour effectuer une montée en généralité, en trouver les règles, et ainsi vérifier que l'imagination ne s'est pas fourvoyée.

Il pousse ainsi les débutants à la pratique et à la curiosité ; cela ne peut que les aider à comprendre les principes mathématiques sur lesquels sont fondées ces choses. Pour le professeur de Halle, en effet, ce lien entre expérience, pratique quotidienne et théorie doit être au cœur des enseignements. Là encore, l'enseignement des mathématiques est un modèle, et notamment la géométrie, une discipline qui ne s'apprend bien qu'avec l'aide de figures justes et précises. Une pédagogie qu'il résume dans cette formule : « la théorie est constamment liée à la pratique, avec laquelle elle n'est pas mal à l'aise. »⁴⁵, avant de montrer comment un enseignement de géométrie doit faire attention à être réalisé avec de bonnes figures, claires et précises.

La relation théorie/pratique de Wolff, telle que la dessine l'apprentissage des mathématiques est donc complexe : base de tous les savoirs pratiques, elle ne peut s'acquérir correctement qu'avec une pratique continue. En réalité, ce que cherche à faire Wolff, c'est à stimuler une capacité intellectuelle, à faire en sorte que cette méthode qui consiste à la fois à maîtriser le raisonnement déductif des mathématiques et savoir réaliser des montées en généralités inductives à partir d'une habitude des figures, devienne une seconde nature, une intuition, chez ceux à qui il enseigne les mathématiques. Un croisement, une rencontre entre un raisonnement descendant et un autre ascendant.

Un dernier point retient encore l'attention de Wolff à la fin de sa préface : le vocabulaire. Il explique qu'il a laissé en français, en anglais, ou dans les autres langues étrangères, les différents mots de l'art, leur donnant simplement la terminaison allemande⁴⁶. Ajoutons ici que ce respect de la langue étrangère se traduit jusque dans la

⁴⁵ Préface de Christian WOLFF, *Anfangs-gründe*, op. cit. Texte original : „Die Theorie ist mit der Praxi beständig verknüpft, damit sie nicht unangenehme würde“

⁴⁶ Fin de la préface de *Ibid.* Texte original : „Die Kunst-Wörter habe ich nach dem Exempel der Franzosen, Engländer und anderer Ausländer behalten, und ihnen nur unsere Mund-Art gemässe Endungen gegeben.“

typographie : les mots allemands étant écrits en gothique et les mots étrangers dans l'alphabet latin. Plus tard, en 1713, il mentionne l'écriture d'un lexique mathématique⁴⁷. Ces précisions, même s'il ne s'étend pas dessus, ne sont pas anodines. Elles témoignent d'un double mouvement : l'un consiste à rechercher une langue universelle, dans les mathématiques, l'autre à utiliser les langues étrangères comme référence pour constituer un vocabulaire un peu plus fixe des arts, dans le même souci qu'a Diderot de les rendre plus intelligibles. Un souci partagé par de nombreux contemporains ; aussi ne faut-il pas s'étonner si, sans le dire explicitement, Leupold respecte la proposition de Wolff, comme il s'inspire d'ailleurs largement de tous ses préceptes.

Insérer la technologie dans le caméralisme

Nous l'avons vu, Leupold connaît Wolff personnellement et cite son œuvre, du moins son œuvre de mathématicien⁴⁸, dont il préconise la lecture. Or, sans que Wolff ne soit personnellement impliqué dans le projet, son œuvre est comme un guide de rédaction pour l'auteur des *Theatri*, ce qui se reflète d'ailleurs dans le titre allemand de son premier tome, qui n'est pas sans rappeler celui du mathématicien, à savoir : *Schauplatz des Grundes Mechanischer Wissenschaften*, que nous pourrions traduire par *Théâtre des fondements des connaissances mécaniques*. Leupold semble d'ailleurs embrasser la plupart des conceptions du philosophe, à ceci près qu'il insiste bien plus que son ami sur l'intérêt économique que pourrait revêtir l'institutionnalisation de la technologie, et l'obligation de son enseignement pour les officiers d'État.

Jacques Guillerme et Jan Sebestik, dans leur célèbre article sur « Les Commencements de la technologie », disaient que « la technologie n'est pas *d'abord* un prolongement de la mécanique ou de la chimie, elle est une discipline camérale, économique. »⁴⁹. La première partie de cette affirmation pourrait être discutée dans le cas de Leupold, mais il demeure que, pour les technologues allemands, cette nouvelle

⁴⁷ A la fin de la préface de Christian WOLFF, *Auszug...*, *op. cit.*.

⁴⁸ Notons que, voulant rendre accessible ses œuvres aux allemands, Leupold ne conseille la lecture d'aucun livre écrit en latin. Christian WOLFF, *Logique*, *op. cit.* ou les autres ouvrages philosophiques de l'auteur ne font pas exception. Cela ne veut pas dire qu'il ne lit pas le latin, et qu'il n'a pas lu ces œuvres. Nous savons au contraire qu'il a fait ses premières études de latin à Zwickau, mais simplement qu'il ne vise pas un public lettré.

⁴⁹ Jacques GUILLERME et Jan SEBESTIK, « Les commencements de la technologie », *op. cit.*, p. 41 du pdf disponible sur *Revues.org : Documents pour l'histoire des techniques*, <http://dht.revues.org/>, consulté le 12 mai 2013. Les auteurs soulignent.

discipline mêlant théorie et pratique dans un but d'utilité, est une part des sciences camérales, expression qui désigne cet ensemble de disciplines formant le socle de la formation des fonctionnaires des différentes « chambres » allemandes. Les sciences camérales étaient, dans la Prusse et la Saxe de l'époque à laquelle écrit Leupold, en cours de formalisation et se concevaient comme les sciences administratives de la finance, de l'économie (entendue comme gestion) et des politiques publiques (ou « *Polizei* »). Or, pour plusieurs penseurs de l'époque, comme pour Christian Wolff⁵⁰, les connaissances techniques devaient faire partie de cette formation de base des officiers royaux et ducaux des différentes chambres des États allemands en construction. Comme le dit Ulrich Troitzsch, Leupold n'échappe pas à cette tendance :

« Dans les *Theatri*, [Leupold] a affirmé avant tout qu'une approche scientifique dans le commerce, l'industrie et des mines serait la seule façon qui ait une chance de réussir à améliorer le bien-être du pays. Dans cette idée, il se rapproche intellectuellement des caméralistes, et avec sa demande de formation technique des officiers d'État, il prépare la voie pour que la technologie devienne l'une des disciplines des sciences camérales. Naturellement d'autres contemporains ont dit la même chose, mais il était certainement le premier technologue d'entre eux. »⁵¹

Rien d'étonnant en effet à ce que Leupold conçoive son projet dans le cadre d'une meilleure administration technique de la Saxe. Cela le place, nous l'avons vu, dans le sillage direct d'un Agricola, qui rédigeait lui aussi son traité sur les mines, dans l'objectif d'en améliorer la gestion. Leupold reprend donc ces arguments, et ceux de la plupart des auteurs de théâtres de machines sur l'utilité des mathématiques, de la mécanique et de la physique, pour l'économie. Il y ajoute cependant les arguments propres de la technologie, qui lie cette prospérité à la capacité des connaissances mécaniques et physiques de soutenir et renouveler les manufactures, les mines et l'économie, fondement de tous les commerces :

« Les connaissances mathématiques, mécaniques et physiques, si elles ne sont pas les plus distinguées, sont un des moyens les plus importants d'amener prospérité et renommée à un pays. La plupart, voire presque tous les commerces naissent des manufactures, mines et d'une meilleure économie (gestion), mais toutes celles-ci sont construites à partir de fondements mécaniques et physiques, sans lesquels elles n'existent pas, ou doivent rester à la vieille routine ; mais à

⁵⁰ Rappelons que Christian Wolff était le collègue du premier professeur de caméralisme, dont la chaire a été créée en 1727 à Halle ; chaire qui accueillit plus tard J.H. Gottlieb von Justi, un célèbre caméraliste, et grand ami de Beckmann.

⁵¹ Ulrich TROITZSCH, « Zum Stande der Forschung über Jacob Leupold », *Technikgeschichte*, 1975, vol. 42, n° 4, p. 267. Cité dans George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p.11.

travers ces arts et connaissances, on peut trouver tous les jours et mêmes toutes les heures quelque chose de nouveau, qui surpasse l'ancien et amène une heureuse prospérité. »⁵²

Le mot n'est pas donné, mais le concept d'un progrès économique continu lié à une meilleure connaissance des sciences mécaniques et physiques, est bel et bien présent dans ce passage. Or ce progrès s'inscrit dans le caméralisme ambiant, car, comme nous le voyons, l'utilité de la mécanique n'est pas tant liée au prince ou au public, mais bien au pays, à la patrie, à l'État, qu'il faut apprendre à bien gérer. Pour réaliser ce projet global, Leupold ne prétend pas que son œuvre suffise. Au contraire, il inscrit celle-ci dans un projet de large envergure, visant à améliorer la formation de la jeunesse et des fonctionnaires aux fondements de la mécanique, et toute la fin de la préface du second tome est consacrée à ces idées.

Première idée forte de notre marchand d'instruments : la nécessité d'un enseignement mathématique de base pour toute la jeunesse (« *Jugend* »). L'âge des personnes visées demeure assez flou, mais plusieurs passages nous permettent de comprendre que Leupold englobe ici une fourchette d'âge allant des petits enfants (« *kleinen Knaben* ») aux jeunes garçons. Ainsi, pour Leupold, « il ne devrait pas y avoir d'écoles, dans lesquelles ne soient pas présenté le minimum des fondements de la géométrie et de la mécanique »⁵³, et les fonctionnaires devraient favoriser les précepteurs de mathématiques privés dans les villes. Un tel enseignement devrait avoir plusieurs avantages. Dans l'immédiat, les personnes ainsi instruites pourront utiliser ces connaissances dans leur profession, et donc, si nous suivons la logique de Leupold, permettre d'améliorer leur productivité. Par ailleurs, un tel enseignement permettrait aussi aux nouveaux instruits de comprendre les écrits de mécaniques et d'être donc plus à même d'en tirer avantage, d'en tirer de l'utilité. Mais par-dessus tout, la connaissance des principes de base de la mécanique devrait empêcher de gâcher des talents intellectuels.

⁵² TM1, préface. Texte original : „die *Mathematischen, Mecanischen und Physicalischen* Wissenschaftten, wo nicht das vornehmste, dennoch eines der wichtigsten Mittel ist, ein Land in Wohlstand und Aufnehmen zu bringen. Die meisten, ja fast alle *Commerciën* entstehen von *Manufacturen*, Bergwercken und guter *Oeconomie*, aber alle diese sind wieder auf *Mechanische* und *Physicalische* Gründe gebauet, ohne welche sie nicht bestehen, oder bei dem alten Schlendrian bleiben müssen, aber durch diese Künste und Wissenschaftten kann täglich ja stündlich was neues erfunden, das alter verbessert und in glücklichern Stand gebracht werden.“

⁵³ TM1, préface. Texte original : „solte dahero keine Schule sein, darinnen nicht wenigstens die Anfangs-Gründe der *Geometrie* und *Mechanic* gezeiget würden“. Sauf indication contraire, toutes les citations de ce paragraphe viennent de la préface du *Theatrum Machinarum Generale*.

Trop de personnes, selon lui, voient leur *ingenium* « empêché » (*verhindern*) de servir la patrie par un manque de connaissances.

Actant cependant l'absence de telles institutions⁵⁴, Leupold ne peut que conseiller la lecture de Wolff aux « esprit exercés » (« *geübte Sinne* ») et du premier tome de ses *Theatri*, à ceux qui souhaitent se former en mécanique. Nous avons vu d'ailleurs, qu'il conseille aux petits garçons de commencer par se familiariser avec les figures afin d'aiguiser leur esprit créatif, dans une démarche finalement proche des topiques renaissantes. Il s'appuie ici sur une phrase de Tschirnhaus⁵⁵, dont il cite l'ouvrage sans donner le nom, qui fait de la mécanique l'aboutissement de la physique, et appelle aussi la jeunesse à s'appliquer à la mécanique, afin de créer une classe de « gens habiles [capables] de procurer des choses extraordinaires »⁵⁶, qui feront la renommée du pays.

Seconde idée forte de Leupold : combler le manque de formation des fonctionnaires d'État. Celui-ci constate le manque de connaissances scientifiques de ceux qui prétendent conseiller le prince et gouverner l'État, et regrette le peu d'empressement mis à diffuser les connaissances mécaniques sur lesquelles est pourtant fondée la prospérité du pays. Plusieurs désavantages découlent selon lui de cette situation qui fait que les fonctionnaires n'entendent rien aux mathématiques ou à la technique. D'abord les fonctionnaires et commissaires (notamment aux mines devine-t-on), ne peuvent pas correctement rendre compte de l'état de l'industrie du pays, de ses « moulins, installations hydrauliques et autres ouvrages d'art et travaux manuels »⁵⁷, et demeurent souvent admiratifs devant des ouvrages qui ne sont pas bons. Pire, ils n'ont pas les compétences suffisantes pour trancher entre différents partis, notamment lorsqu'il s'agit de construire un nouvel ouvrage⁵⁸. Sans ces connaissances, les membres de la cour, et notamment de

⁵⁴ Leupold noircit ici le tableau et les mathématiques n'étaient pas totalement absentes des enseignements de la jeunesse, mais ceux-ci n'étaient pas partout généralisés.

⁵⁵ Ehrenfried Walther Tschirnhaus est un mathématicien, physicien et entrepreneur allemand. Membre associé de l'Académie des sciences de Paris, il dirigeait des établissements de verrerie en Saxe, était connu pour s'intéresser à la construction d'instruments d'optique et surtout, pour avoir co-découvert le procédé de fabrication de la porcelaine de type chinoise, un procédé qui a fait la renommée de la Saxe du XVIII^e siècle, jusqu'à aujourd'hui.

⁵⁶ TM1, préface. Texte original : „sehr *habile* Leute, hieraus formiret, die *extraodinaire* Sachen zu praestiren fähig sind“

⁵⁷ TM1, préface. Texte original : „ohne diese Wissenschaftt können Beamte und *Commissarien*, die bei Mühlen-Wasser- und andern Kunst-Wercken und Handwercken sollen Nachricht einziehen, Recht sprechen, oder die Partheien entscheiden.“

⁵⁸ Notons que la même idée, moins développée et exprimée différemment, avait été émise par Salomon de Caus dans sa préface. Celui-ci expliquait au roi de France qu'il lui fallait connaître la mécanique pour choisir les bons projets.

la chambre et de l'inspection des mines, perdent un temps précieux à s'en laisser compter par des maîtres artisans malhonnêtes ou ignorants. De la même façon, il leur arrive de passer à côté d'ouvrages utiles au pays.

Manque à gagner et gaspillage du temps, Leupold ne mâche pas ses mots, et il s'agit, dans une optique ici explicitement camérale, d'améliorer la formation de base des fonctionnaires d'État chargés des grands travaux et des mines, afin de limiter les dommages et de favoriser l'utilité des arts pour l'État. Pour ce faire, Leupold mentionne un projet d'école de mécanique, dont il devrait développer les plans plus tard, dans un « écrit à part » (« *a parten Scripto* »). À notre connaissance, il ne développe nulle part ses vues sur le sujet et sa mort précoce l'a sans doute empêché de rédiger ce projet. Il est cependant possible de voir un exemple de ce qu'aurait pu être une telle école avec la fondation de l'école de Freiberg en 1765, peu avant la réédition complète des *Theatr*⁵⁹.

En attendant une telle fondation, Leupold ne peut, là encore, que conseiller la lecture de son œuvre. L'objectif pratique qu'il s'est fixé l'oblige d'ailleurs à ne pas s'étendre trop sur la théorie en dehors de ce premier volume, ce qu'il aurait pourtant aimé faire. Il s'engage ainsi à multiplier les exemples et habituer les esprits à juger de la bonté d'un projet et à trouver des solutions aux différents problèmes qui se poseraient. Se cache aussi, derrière ce parti pris, une nécessité commerciale : « parce que la plupart ne cherche que la pratique et les machines curieuses »⁶⁰. Mais ce souci permanent de Leupold de toucher le plus large public ne l'empêche pas de compter sur « les amoureux de cette connaissance » (« *Liebhavern dieser Wissenschaft* ») pour venir écouter les lectures publiques qu'il donne de chaque volume à leur parution. Sans aucun doute, il s'agit là encore d'une stratégie commerciale, mais ce cercle restreint d'intéressés témoigne peut-être aussi du fait que les idées que porte Leupold sur la création d'institutions technologiques sont partagées par d'autres personnes dans cette Saxe du début du XVIII^e siècle.

⁵⁹ Le projet aurait sans doute été similaire à ce que fût l'école de Reims au XVIII^e siècle. Fondée avec l'appui de l'académie royale des sciences de Paris, cette école formait les étudiants aux disciplines scientifiques dans un objectif ouvertement pratique. Elle devint assez vite un tremplin vers des écoles d'ingénieurs comme Mézières. Nous devons ces informations à Bernard Delaunay, qui consacre une partie de sa thèse aux origines de cette école.

⁶⁰ TM1, préface. Texte original : „weil die allermeisten nur Practica und curieuse Maschinen suchen“

Former une classe intermédiaire

Nous venons de le voir, Leupold vise, par ses *Theatri*, à palier au manque d'outils permettant de former des personnes, selon une orientation technologique, à la mécanique. Ainsi, le public auquel il s'adresse appartient à la classe industrielle, celle qui a besoin de machines pour faire son travail et donc profiter à l'économie, ceux que Leupold appelle les « artistes, manœuvres et gens de même sorte »⁶¹. Il s'agit de les former pour qu'ils deviennent des personnes capables de mieux travailler et d'améliorer leur productivité. Il ne s'agit pas d'en faire des savants, mais simplement de les hisser à une classe intermédiaire, en leur proposant un enseignement adapté. D'une certaine façon, il s'agit de traduire par un nouveau statut social un programme philosophique mêlant pratique et théorie. Ainsi, reprenant un vieil argument des théâtres de machines, Leupold développe et renvoie dos à dos les figures de l'artiste routinier et de l'érudit curieux, comme des émanations de la théorie pure et de la pratique irréfléchie, avant de présenter son mécanicien idéal.

Le premier chapitre, intitulé « Ce qu'est la *mécanique* et ce qu'est un *mécanicien*. Les mots de l'art les plus connus, qu'un *mécanicien* doit connaître »⁶², est constitué conformément à la méthode pédagogique développée par Christian Wolff, de plusieurs définitions très générales. De la mécanique, d'abord, définie comme art du mouvement et de la conception des machines⁶³ ; du mécanicien idéal ensuite, sur lequel je reviendrai ; de la machine enfin, perçue comme un artifice conférant un avantage. Suivent plusieurs définitions de *statique* et de *mécanique*, et, dans les deux derniers paragraphes (§16 et §17), une distinction entre théorie et pratique, qui permet une distinction entre plusieurs types de mécaniciens :

« §16. La *Théorie* est, en mécanique, la connaissance des règles et des rapports du mouvement des corps et machines, afin que toutes les machines soient calculées et spécifiées. §17. La *Praxis*, en mécanique, est l'art de spécifier une machine d'après la théorie ou les fondements de la mécanique, et mis réellement en état de fonctionner. Est donc un *theoricus* de la mécanique, celui qui n'a que

⁶¹ TM1, préface. Texte original : „Künstler, Handwercker, und dergleichen Leute“

⁶² TM1, sommaire. Texte original : „Was die *Mechanic* und ein *Mechnicus* ist. Die vornehmsten Kunst-Wörter, so ein *Mechanicus* wissen soll.“

⁶³ Leupold mentionne aussi une définition beaucoup plus large de la mécanique comme "art mécanique", et selon lui « sera aussi compté à la mécanique le plus vil des manouvriers » (TM1, chapitre 1. Texte original : „ja es werden auch so gar zur *Mechanic* die gemeinsten Handwercker gezehlet.“).

les fondements de celle-ci [...] un *empiricus*, en mécanique, est celui qui, bien qu'il sache construire une machine d'après la façon et la croyance des initiés, ne connaît aucune cause, et n'a pas le moindre fondement [théorique] de pourquoi ceci ou cela doit être ainsi et non autrement, comme la plupart de nos maîtres, de nos charpentiers, mineurs, et autres. »⁶⁴

Ce passage est sans doute le plus explicite dans la distinction opérée entre deux types de connaissances, et deux types de travers liés à ces connaissances. Cependant, dans la préface, ou plusieurs fois dans le texte, Leupold mentionne les mêmes problèmes rencontrés par ceux qui se tournent soit uniquement du côté de la théorie, soit uniquement du côté de la pratique. Ces différentes mentions nous permettent de préciser encore un peu le contour de ces deux figures, qui ne sont pas, dans l'esprit de Leupold, de simples archétypes sur lesquels faire reposer son argumentation, mais des façons d'être bien réelles, observées chez plusieurs personnages.

La figure de l'*empiricus* : le machiniste

De façon générale, Leupold semble englober sous le terme d'*empiricus*, tous les artisans qui conçoivent leurs actions dans le régime pratique de pensée opératoire⁶⁵, défini par une transmission par le geste et la parole, au sein de groupes unis par une culture symbolique et mythique très puissante. C'est, à l'époque moderne, l'immense majorité des « maîtres, charpentiers, mineurs, et autres » qui pense ainsi, et la relation que Jacob Leupold entretient avec ces artisans qualifiés, et notamment avec ceux qui construisent des machines, est pour le moins ambiguë. D'un côté il met en évidence leur rôle général dans l'économie, en montrant dans la dédicace l'utilité des machines et de leur activité ; de l'autre en revanche, il critique leur manque de connaissances et la façon dont ils gâchent leurs inventions. C'est qu'il différencie bien le mécanicien (« *Mechanicus* »), du machiniste (« *Machinarius* »), qui ne sait faire que construire les

⁶⁴ TM1, chapitre 1. Texte original : „§16. Die *Theorie* is bei der *Mechanic* die Wissenschaftt der Regeln und Verhältnisse von Bewegung der Körper und *Machinen*, wornach alle *Machinen* zu berechnen und anzugeben sind. §17. Die *Praxis* bei der *Mechanic* ist ein Kunst, da nach der *Theorie* oder *Fundamenten* der *Mechanic* eine *Machine* angegeben, und würcklich in Stand gebracht wird, dass sie *praestanda praestiret*. Ist also ein *Theoreticus* bei der *Mechanic*, der nur die *Fundamenta* innen hat [...] Ein *Empiricus* bei der *Mechanic*, ist der zwar eine *Machine* nach eingeführter Arth und Gebrauch aufzubauen weiss, wie unsere meisten Kunst-Meister, Kunst-Zimmerleute, Kunst-Steiger, Müller, und dergleichen; aber keine Ursach wissen, oder einige *Fundamenta* haben, warum oder jenes also und nicht anders sein muss.“

⁶⁵ Voir *infra* note 23, p. 70.

machines, mais non les concevoir selon les justes fondements⁶⁶. Ainsi, dans la préface, Leupold raille-t-il, avec une ironie cinglante, les prétendues merveilles de la mécanique de ces « faiseurs de vent » :

« Ce livre a manqué jusque là à la plupart des *mécaniciens*, qui ont *inventé* des *machines*. De là, il se trouve qu'aujourd'hui encore de nombreux artistes et maîtres *d'invention* savent faire de vraies merveilles, produisent de la force sans force, et veulent faire avec un kilo autant qu'avec deux, ou avec un cheval autant qu'avec deux, et même le *mouvement perpétuel* est pour eux une assez petite chose. Mais tout cet outillage narratif et ces faiseurs de vent prennent simplement naissance en ceci que ces gens n'ont pas de *fondements* et ne savent pas calculer l'énergie, la charge et le temps. Pour cette raison sont également nés des monstres *mécaniques*, et tant de livres en sont pleins, qu'ils ont ruiné le plus souvent possessions et biens, et même l'entière *renommée* non seulement de leurs *inventeurs*, mais aussi des autres qu'ils voulaient *imiter*. »⁶⁷

L'attaque est de taille, et Leupold pense sans doute ici au milieu des mécaniciens de Leipzig, qu'il connaît pour être en conflit permanent avec eux depuis la création de son propre atelier⁶⁸. Il leur reproche non seulement leur manque de connaissances mathématiques, de "fondement", mais surtout de faire la publicité de ces prouesses impossibles. Il est d'ailleurs possible de deviner dans la critique des nombreux livres contenant des machines inutiles, une critique sous-jacente, et du même ordre que celle que nous avons déjà évoquée plus haut, des théâtres de machines renaissants. Leupold mentionne notamment des machines permettant de faire « autant avec un homme qu'avec deux », ce qui rappelle certaines notices du *Théâtre des instruments* de Besson. Cependant, il est aussi probable que Leupold s'en prenne en fait ici à toute une littérature de petits opuscules ou mêmes, qui sait ? d'*ephemera*⁶⁹, dans lesquels les inventeurs ne cessent de présenter des machines capables de faire des merveilles.

⁶⁶ TM 1, chapitre 1, §2 : „Es wollen etliche einen Unterscheid zwischen einem Mechanico und Machinario machen, so, dass ein Machinarius sei, der nur Maschinen zu erfinden und anzugeben weiss.“

⁶⁷ TM1, préface. Texte original : „[Dieses buch], so denen meisten *Mechanicis*, die *Machinen inventiret* haben, bisher gefehlet hat. Dahero noch täglich sich viel neue Künstler und *Inventions*-Meister finden, die lauter Wunderwercke zu machen wissen, und Krafft ohne Krafft ausüben, oder mit einem Pfund so viel als mit zweien, oder mit einem Pferd so viel als sonst mit zweien thun wollen, ja gar das *Perpetuum Mobile* ist ihnen nur ein geringes. Aber, alles dieses närrische Zeug und Windmachern entstehet bloss daher : weil solche Leuthe kein *Fundament* haben, und Krafft, Last und Zeit nicht zu berechnen wissen. Aus eben dieser Ursach sind viele Missgeburten von *Machinen* entstanden, und so viel Bücher darmit angefüllet worden, die nicht nur ihre *Inventores*, sondern auch andere, die solche *imitiren* wollen, öffters um Haab und Gut, ja um ihre ganze *Renommée* gebracht.“

⁶⁸ Voir sa biographie dans Annexe 2 : « Biographies des personnages », p. III.

⁶⁹ Ce terme désigne des ouvrages imprimés, souvent sur une seule feuille, destinés à un emploi éphémère. Ainsi des réclames, des annonces ou des affiches en tout genre.

Ces ignorants, en faisant la publicité de leurs machines couteuses et inefficaces nuisent à l'économie du pays. Leupold, dans la préface du deuxième tome de son *Theatrum Machinarum Hydraulicarum*, mentionne à ce titre que ces mécaniciens sont intéressés principalement par la grosse machinerie, et veulent, dans la ligne d'Archimède, faire mouvoir la Terre, ce qui les amène à construire des machines pouvant coûter 1000 thalers (Leupold gagnait alors 300 thalers par an comme commissaire aux mines)⁷⁰, alors même qu'elles ne fonctionneraient pas. Le motif économique, signe de l'insertion de Leupold dans le caméralisme, est omniprésent dans les mesures de son livre : la machine est là principalement parce qu'elle permet d'obtenir des gains de temps.

Plus grave encore que l'économie, la littérature ambiante et les ignorants fanfarons risquent de ruiner la renommée de leur discipline, et donc ce programme qui vise à améliorer la productivité par les machines dans son entier. Ces attaques permettent, comme en témoigne le début de la citation précédente, de poser le *Theatrum Machinarum Generale* en contrepoint, comme un moyen non seulement de former ces ignorants mécaniciens, mais aussi d'éviter la ruine économique et de garantir la reprise en main du pays. La théorie mécanique, à inculquer aux ignorants, serait donc la garante d'un bon fonctionnement de l'économie⁷¹.

La figure du *Theoricus* : le mathématicien

L'empirisme et, sous ce vocable, le régime pratique de la pensée opératoire, est largement critiqué par Leupold, et à plusieurs reprises dans tous les tomes des *Theatri*. Cependant, la théorie pure, l'idée de ne savoir concevoir les choses que sur le papier, fût-ce d'après les meilleures théories, est, de l'avis de Leupold, tout aussi illusoire. Ainsi, le théoricien est d'abord celui qui n'a aucun savoir de la main, et ne connaît pas les contrariétés matérielles. La figure la plus emblématique du théoricien selon Leupold, et aussi surprenant que cela paraisse étant donné l'éloge qu'il fait de sa discipline, est le

⁷⁰ Voir TM4, préface : „...*Machinisten*, die alle ihre Gedancken nur auf gewaltige *Machinen* richten, und sorgen, wie sie mit *Archimede* die Erde bewegen wollen, solche so starck eingewurtzelte, eitle und falscher Gedancken zu benehmen, auch andere zu warnen, dass sie sich von solchen Irrgeistern nicht verführen und in unnöthige kosten und Schaden setzen lassen, und eine *Machine* anlegen, die etliche 1000 Thaler kostet, davor sie eine vor so viel hundert haben können, die eben diese und vielleicht noch bessere Dienste gethan hätte.“

⁷¹ Remarquons combien cette méthode diffère de la réduction en art, qui voyait dans les descriptions et la diffusion des meilleures pratiques un facteur de développement économique : ici, la démarche est plus descendante.

mathématicien. Leupold en parle peu, son livre ne lui étant pas destiné, mais plusieurs remarques permettent cependant de se faire une idée des reproches qu'il peut leur faire :

« [Il arrive] souvent que les grands *mathématiciens* soient malchanceux avec leurs *inventions*, parce qu'ils ne comprennent pas le travail manuel. Ainsi donc, il y a peu, un grand homme décédé, qui utilisa, d'après le récit des journaux savants, 24 000 thalers pour une seule *machine* de son *invention* (qui se pouvait faire avec quelques 100 thalers), n'a cependant pas vu, qu'elle [ne] viendrait à la *Perfection*, et cela non parce que quelque chose de son *invention* et indications n'aurait pas été bien réalisé, non, mais parce qu'il ne comprenait pas le travail manuel et ce qui lui appartient, ou qu'il ne s'appliquait pas lui-même à ce travail avec ses propres mains. »⁷²

Là encore, les dépenses inutiles, liées à une méconnaissance matérielle, sont pointées du doigt. Les arguments qui permettaient de railler les empiristes sont ici retournés contre les théoriciens, et ce sont les mêmes raisons économiques qui permettent à Leupold de renvoyer dos à dos ceux qui ne connaissent rien aux théories mathématiques, et ceux qui n'ont jamais su utiliser leurs mains et de là sont incapables d'être pragmatiques.

L'argument économique, se double, ici aussi, d'une attaque morale. Car quand les érudits ne gâchent pas la réputation de la mécanique comme discipline, ils contribuent, par leur goût pour les belles mécaniques, à favoriser des machines inutiles. Ainsi, dans la préface de son premier tome, Leupold précise :

« Premièrement, il est à savoir qu'on n'a pas avec ses *fondements* comme dessein principal de servir aux érudits et experts en *mathématiques*, [...] car la plupart des érudits se sont adonnés jusque là à *l'étude des mécaniques*, davantage pour la *curiosité* et la *galanterie*, que pour obtenir une quelconque utilité. »⁷³

La "Galanterie" (art de plaire) et la "curiosité", à comprendre ici dans le sens de l'attrait pour l'extraordinaire et non dans le sens d'une curiosité scientifique, marquent le

⁷² TM1, chapitre 1, §2. Texte original : „dahero es kommen, dass öfters grosse *Mathematici* mit ihren *Inventionibus* unglücklich gewesen, weil sie die Hand-Arbeit nicht verstanden. Wie denn kürzlich ein grosser Mann gestorben, der nach Bericht der Gelehrten Zeitungen 24000 Tthlr. auf eine einige *Machine* von seiner *Invention* angewendet, (so doch mit etlichen 100 gescheben können,) hat aber dennoch nicht erlebt, dass solche zur *Perfection* gekommen, und dieses nicht darum, dass etwa seine *Invention* und Angaben nicht wäre richtig gewesen, nein, sondern weil et die Hand-Arbeit, und was dazu gehöret, nicht verstanden, oder vielmehr solches nicht selbst mit eigener Hand ins Werck setzen können.“

⁷³ « Galanterie » en français dans le texte : TM1, préface. Texte original : „Erstlich ist zu wissen, dass man nicht diesen *Fundamenten* seine Absicht hauptsächlich nicht auf die Gelehrte und erfahrene *Mathematicos* gerichtet [...] denn die allermeisten Gelehrten das *Studium Mechanicum* bisher mehr zur *Curiosität* und *Galanterie* gebraucht, als dass sie einigen Nutzen dadurch erlanget.“

vocabulaire de la séduction et de la cour. Il est ici dénigré au profit de celui d'utilité, particulièrement en vogue dans ce contexte de rattrapage économique dans lequel se pense la Saxe. Rappelons que l'utilité, à l'époque, a une connotation économique beaucoup plus forte qu'aujourd'hui, désignant le profit qu'il est possible d'espérer par un gain de productivité. Tout comme gâcher la renommée de la mécanique par des inventions sans fondements mettait en danger le programme industriel de Leupold, l'esprit qui gouverne aux études scientifiques en mécanique, trop éloigné des considérations matérielles, risque de détourner les intelligences de la découverte de ce qui serait profitable à l'économie du pays. C'est finalement la reprise, actualisée, de la critique que faisait Jacques Besson aux érudits parisiens⁷⁴ : l'ambition d'une science détachée de toute considération pratique est ici critiquée.

Cependant, si Leupold décrit un état de fait qu'il ne peut que dénoncer, son œuvre ne semble pas avoir pour objectif d'y remédier. Son ambition est plus clairement de partir de la classe laborieuse des artistes pour en faire de bons mécaniciens. La classe intermédiaire serait davantage, semble-t-il au premier abord, issue d'une élévation des artistes empiristes, que d'un apprentissage manuel des érudits théoriciens. Il ne s'agit pas de remettre en cause un ordre social, mais de créer, au sein de la société une émulation technologique, permettant à tous ceux qui font la richesse d'un pays d'améliorer la façon dont ils pratiquent leur métier, en devenant de bons mécaniciens.

La figure du *Practicus* : le mécanicien

Nous pourrions penser, d'abord, que la définition que donne Leupold du bon mécanicien serait faite par défaut : ni théoricien, ni empiriste, il se situerait entre les deux. Leupold prend cependant le temps de définir en détail ce qu'il doit être, les connaissances qu'il doit avoir, et les compétences qu'il doit acquérir. Il s'agit pour lui de dessiner ce à quoi doivent aspirer les travailleurs saxons, et plus largement tous les travailleurs, pour participer activement et de bonne façon à la vie économique de leur pays.

Le bon mécanicien est d'abord un praticien, *Practicus* dit Leupold, c'est-à-dire, une sorte de théoricien, « mais qui sait spécifier et réaliser une *machine* d'après les

⁷⁴ Voir aussi *infra* « Se défendre contre les « envieux » », p. 199.

fondements »⁷⁵. La figure du praticien est une figure générale : celle du bon artisan, qui doit savoir de quoi son art est fait, d'après de justes fondements physiques et mathématiques. À bien lire ce qu'écrit Leupold, on voit que le praticien est simplement un théoricien qui passe à l'action, qui part des fondements de la mécanique pour concevoir (« *angeben* » : spécifier) une machine. Il n'est pas évident, et sans doute pas obligatoire dans l'esprit du valétudinaire Leupold, que l'exécution de celle-ci soit le fait même du praticien. Littéralement, il dit d'ailleurs que le praticien spécifie et conduit (« *fürhen* ») dehors (« *aus* ») la machine ; conduit, c'est-à-dire dirige le chantier pour faire passer la machine du papier à la réalité. Un bon mécanicien est donc avant tout un concepteur, mais un concepteur capable de tenir compte de la matière, non parce qu'il en aurait une expérience directe, mais parce qu'il en a appris les caractéristiques, peut-être même à l'aide d'expérimentations.

En effet, la mécanique étant la reine des arts, le mécanicien se doit d'acquérir de très nombreuses connaissances et compétences, et sur tous les arts dits mécaniques :

« Mais un *mécanicien* (dont on parle ici⁷⁶) doit être une *personne* qui non seulement comprend bien, et à fond, tous les travaux manuels, comme : le bois, l'acier, le fer, le laiton, l'argent, l'or, le verre, et tous les différents *matériaux* palpés dans cet art, sachant juger, grâce aux *fondements physiques*, dans quelle mesure ils peuvent être adéquats selon leur *nature* et caractéristiques, lesquels supportent ou *procurent* ceci ou cela, pour atteindre toute son utile *proportion*, force et commodité, et fait de la chose ni trop, ni trop peu ; mais aussi peut, par les connaissances *mécaniques* (ou règles) arranger chaque *proportion* ou *effet* exigé par l'énergie disponible ou voulue ; c'est pourquoi il doit avoir étudié la *géométrie* et l'*arithmétique* et aussi ce qui est nécessaire au *calcul* dans la distribution des *machines*. Et quand il comprendra bien son *métier*, il devrait avoir bien en lui tous les arts et *métiers*, par quoi il inventera et fera les machines ; car autrement il ne saura pas ce qu'il fait, et n'aura pas non plus moyens d'améliorer quelque chose ou *d'inventer* quelque chose de nouveau, et alors il aura besoin avant tout d'un *mécanicien*. »⁷⁷

⁷⁵ TM1, chapitre 1, §17. Texte original : „Ein *Practicus* aber, der auch nach denen *Fundamenten* eine *Machine* würcklich anzugeben und ausführen weiss.“

⁷⁶ Cette précision fait référence à sa définition très large de la mécanique comme art mécanique (voir note 63, p. 334), et s'en distingue justement pour proposer une définition plus restreinte et très particulière du mécanicien.

⁷⁷ TM1, chapitre 1, §2. Texte original : „Ein *Mechanicus* aber, (von dem hier die Rede ist,) soll eine *Person* sein, die nicht nur aller Hand-Arbeit wohl und gründlich versteht, als : Holz, Stahl, Eisen, Messing, Silber, Gold, Glass, und alle vergleichen *Materialen* nach der Kunst zu *tractiren*, und der aus *physicalischen Fundamenten* zu urtheilen weiss, wie weit jedes nach seiner *Natur* und Eigenschafft zulänglich oder geschickt ist, dieses oder jenes zu *praestiren* und auszustehen, damit alles seine nöthige *Proportion*, Stärcke“, und Bequemlichkeit erlange, und der Sache weder zu viel noch zu wenig geschehe, sondern auch nach denen *mechanischen* Wissenschaften oder Regeln eine jede verlangte *Proportion* oder *Effect* nach vorhandener oder gegebener Krafft oder Last anordnen kan; worzu es aus der *Geometrie* und *Arithmetic* auch das nöthige zur Berechnung im Austheilen der Maschinen muB erlernen haben. Und wo er seine

Nous voyons, ici encore, combien les mathématiques forment une sorte de socle nécessaire à tout travail ultérieur. Ce qui est nouveau en revanche, c'est l'accent mis ici sur la nécessité de bien connaître les matériaux. Nous pouvons voir dans cette mention à la fois un héritage du siècle et demi précédent (fin XVI^e et XVII^e siècle), qui fait du matériau naturel le marqueur principal d'un mode continuiste de pensée du monde⁷⁸, et celui du siècle qui vient, dans lequel la chimie et la connaissance des matériaux et de leurs propriétés devient un objet central des connaissances industrielles.

Plus intéressant encore est le fait que pour inventer et améliorer des machines, le mécanicien doit dépasser son propre métier, sa seule compétence mécanique, il doit être capable d'englober l'ensemble des arts mécaniques, sans quoi, ne sachant pas ce qu'il fait, son travail aura été vain. Mathématiques comme base, connaissances dans tous les arts, ces deux impératifs justifient aussi, et de façon subtile, l'encyclopédie mécanique que Leupold s'apprête alors à publier, tome après tome.

Autre point encore, la nécessité de dépasser son métier fait du mécanicien tel qu'il est décrit ici, le parangon, mieux le fer de lance, de la mise en pratique de la technologie camérale, telle que la développera Wolff quelques années plus tard. Ce sont des hommes comme ce mécanicien idéal qui, grâce à des connaissances techniques et scientifiques, peuvent et doivent permettre au pays de développer son économie. Les *Theatri* de Leupold se donnent donc pour mission de former et d'amener de jeunes personnes à devenir de tels mécaniciens.

À deux conditions toutefois. La première est que ce futur mécanicien agisse pour l'amour de l'art et ne compte ni le travail, ni la dépense, ni la fatigue, car tous les jours il aura des choses nouvelles à apprendre et à expérimenter. Leupold transforme ici ce qui était un argument de sérieux dans les théâtres de machines renaissants, « théâtre de labeur immense »⁷⁹, en un impératif moral pour ceux qui souhaitent se former et devenir

Profession recht verstehen will, soll er alle Künste und *Professionen*", worzu er *Machinen* machen und *inventiren* will, wohl innen haben; den sonst weiss er nicht was er macher, ist auch nicht vermögend etwas zu verbessern oder neues zu erfinden, so doch hauptsächlich von einem *Mechanico* erfinden wird."

⁷⁸ Horst BREDEKAMP, *Machines et cabinets...*, op. cit., p. 46 notamment. L'auteur montre comment les cabinets passaient d'un marbre naturel à une statue antique à d'autres objets, avant de revenir sur un autre matériau, présenté à l'état naturel, puis petit à petit amené à un artifice humain.

⁷⁹ Ainsi François Béroald décrit-il l'œuvre de Jacques Besson dans la « Préface au lecteur » de Jacques BESSON, *Théâtre des instruments*, op. cit.

de bons mécaniciens. Cependant, deuxième condition, tout le monde n'est pas apte à devenir un tel homme. Notre auteur précise en effet qu'un mécanicien doit naître non seulement avec une habilité naturelle à inventer, mais aussi avec une capacité à pouvoir apprendre rapidement et sans fatigue tous les arts et sciences nécessaires à sa formation, car c'est ce qui lui permettra d'appliquer ce qu'il conçoit : « ce que ses yeux voient, ses mains le peuvent »⁸⁰. Autrement dit, l'*ingenium*, qui était jusqu'alors la marque des inventeurs de machines, ne suffit plus ici pour être un mécanicien accompli, encore faut-il avoir l'esprit bien disposé aux études, dont Leupold renvoie le programme exact et complet dans un autre ouvrage⁸¹, ne s'appliquant pour le moment, qu'à en donner la partie mécanique.

En bref, le mécanicien de Leupold est un concepteur et un technologue, doué et formé spécifiquement à ces tâches. Deux questions se posent encore : quel lien entretient cette nouvelle figure avec celle de l'ingénieur ? Et comment faire, des artistes ignorants auxquels s'adresse Leupold, des personnes formées en mécanique ?

Les chapitres suivants visent à répondre à la seconde question, mais tentons ici de répondre à la première. G. W. Lockett, dans sa thèse sur Leupold posait déjà cette question de la différence entre le *Mecanicus* et l'ingénieur⁸². Et en effet, il est surprenant de noter, avec lui, qu'"ingénieur" est un mot totalement absent de ces définitions préliminaires, et que Leupold ne l'utilise presque jamais. G.W. Lockett fait une recension assez rapide des occurrences du mot, qui apparaît, selon lui, trois fois. Une première fois, dans le second tome, en parlant des digues et barrages, l'ingénieur désigne celui qui supervise la construction. Une seconde, fois, à la fin du troisième tome, discutant de l'amélioration des machines hydrauliques, Leupold cite un dialogue entre un ingénieur et un mécanicien (gageons qu'il ne s'agit pas de son mécanicien idéal) incapable de

⁸⁰ TM1, chapitre 1, §2. Texte original : „Vor allen andern aber muss er zu einen Mechanico gebohren sein, damit er aus natürlichen Trieb nicht nur zum inventiren geschickt ist, sondern auch mit leichter Mühe amme Künste und Wissenschaften geschwinde fassen kann, so, dass man von ihm sagen darf : Was seine Augen sehen, auch seine Hände können; und dass er aus Liebe zur Kunst keine Mühe, Arbeit noch Kosten scheuet, weil er lebens-lang täglich was neues zu lernen und zu experimentiren hat.“

⁸¹ TM1, chapitre 1, §2. Texte original : „(1) Werden also zu einen geschickten Mechanico so viel Requisita erfordert, dass der zehende Mechanicus selbst noch nicht weiss, was er wissen soll. Dieses alles aber wird künfftig in einem besondern Tractat, unter dem Tittel : Der zu Aufnahme des Landes höchst unentbehrliche Mechanicus, weitläufftig ausgeführet werden.“

⁸² Tout ce paragraphe relate et discute cette partie de la thèse de Georges Wilfrid Lockett, *op. cit.*, section 9.2, pp. 262-264.

répondre aux questions de l'ingénieur. Enfin, la troisième fois, Leupold fait, dans la dédicace à l'empereur Charles VI, des mécaniciens militaires de l'Antiquité, « nos *ingénieurs* d'aujourd'hui »⁸³. Il est difficile avec ces mentions de bien faire une différence. À l'époque le terme d'ingénieur désignait en effet les ingénieurs militaires. Mais déjà au XVI^e siècle, un Jacques Besson, qui ne connaît rien en génie militaire, avait gagné le titre d'ingénieur du roi, un usage civil du mot encore présent au XVIII^e siècle, sous la plume d'un Bélidor par exemple. En Allemagne, le mot a sans doute eu du mal à percer, et nous pourrions voir là simplement d'un décalage temporel, à l'instar de G.W. Lockett. Nous pouvons cependant aussi comprendre du choix de ces mots, une légère nuance quant au public auquel s'adresse Leupold. Bélidor, comme le dit si bien G.W. Lockett, ne fait pas mystère de s'adresser aux ingénieurs. Leupold, quant à lui, s'adresse en priorité aux artistes, qu'il cherche à former ou à des officiers d'État. C'est sans doute là qu'est la nuance. Bélidor veut former des ingénieurs, en "formation initiale" dirions-nous aujourd'hui, là où Leupold, actant du manque d'institutions pour ce faire, cherche à promouvoir une sorte de "formation continue" des artistes et officiers de son pays :

« Un *Theatrum machinarum generale* manquait auparavant, un livre qu'on pourrait aussi nommer théâtre (« *Schauplatz* ») des connaissances de base du mécanicien, parce que dedans on apprendra l'essentiel de quasi-toutes les règles, lois et les avantages, qui sont utiles à connaître non seulement pour servir à l'invention, mais aussi pour servir à la fabrication, l'appréciation et l'emploi des machines et instruments ; un livre qui est également celui qui a ainsi manqué auparavant à la plupart des mécaniciens, qui ont inventé des machines. »⁸⁴

D'abord, Leupold ne cantonne pas l'utilité de son œuvre à l'invention, ou à la conception dirions-nous aujourd'hui, mais bien aussi à l'évaluation des machines : il ne s'agit pas de former des "concepteurs de métier" que pourraient être les ingénieurs, mais des officiers capables de juger des projets proposés⁸⁵.

Par ailleurs, dans la citation, en opposant les connaissances idéales du bon mécanicien, et le fait qu'elles manquaient à ceux qui pratiquent des arts mécaniques (les mécaniciens de la fin de la citation), Leupold met bien ici en lumière sa démarche de

⁸³ TM5, dédicace. Texte original : „Denn was vor alten Zeiten, diese *Mechanici* waren, das sind heute zu Tage unsere *Ingenieurs*, welchen nicht nur allein zukömmt eine Festung aufzureisen und dann zu erbauen, sondern auch nach mechanischen Fundamenten allerlei Maschinen anzugeben, so wohl auch eine *Fortresse* zu defendiren, als solche zu emportiren.“

⁸⁴ TM1, préface.

⁸⁵ En cela d'ailleurs, Leupold est plus proche de l'argumentaire des théâtres renaissants que de Bélidor.

former des artistes ignorant les fondements de la mécanique, à des principes leur permettant d'améliorer les machines qu'ils ont inventées, ou du moins d'asseoir leurs futures inventions sur des bases solides. L'objectif, clairement annoncé, est de former une nouvelle classe de travailleurs, dont l'inventivité et la compétence ne seraient pas émoussées par un manque d'instruction, et qui pourrait ainsi mieux servir la patrie⁸⁶. Finalement, cette vision est à rapprocher de ce que Wolff disait des français dans sa préface à l'édition allemande de Bélidor, à savoir que les allemands devaient s'inspirer de ces français qui comprenaient bien la nécessité de former leurs ingénieurs à la théorie⁸⁷ : l'idéal d'hommes sachant mêler théorie et pratique dans l'optique de réaliser des machines plus efficaces est le même chez tous ces promoteurs de la technologie ; c'est le point de départ qui est différent, et de là, sans doute, la pédagogie employée.

Les croyances des empiristes : obstacle ou motivation ?

Avant d'analyser en détail la pédagogie de Leupold, revenons sur un autre point central de son projet technologique : la lutte contre les croyances et la routine des artistes. Nous pourrions justement penser que la mécanique, domaine par excellence des ingénieurs depuis quelques siècles, serait dépourvue de telles croyances, mais deux choses font que ce n'est pas le cas. D'abord, la conception de machines n'était toujours pas l'apanage des seuls ingénieurs, et outre les architectes, autre corps social distinct de la masse des métiers, de nombreux inventeurs anonymes et de nombreux artistes inventaient des machines qui leur étaient utiles. Ceux-là n'ont pas prétention à changer pour autant de statut social, ils ne cherchent pas à faire de leur savoir un art libéral ou dominant les autres, et ils n'ont donc pas d'intérêt particulier à lutter contre des croyances. Pour autant, ils ne forment pas une communauté, et s'ils ne combattent pas de mythe, ils n'en construisent pas non plus. C'est pourquoi le deuxième aspect me semble majeur, à savoir que les ingénieurs, en se constituant en tant que caste, redonnent voix et consistance à des mythes peut-être marginaux dans la conception de machines, soit pour

⁸⁶ TM1, préface. Texte original : „dass manches geschicktes Ingenium sich und dem Vaterlande zu dienen, dadurch verhindert wird, das sonst durch Lesung solcher Materien, vermittelt seines angebohrnen Naturells und bequemen Gelegenheit, viel grössere Dinge thun könnte, ja die noch ziemliche Zahl derer Mechanicorum würde um ein grosses sein vermehret worden.“

⁸⁷ George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. 264.

s'en emparer, soit pour les rejeter. Or, pour les machines, le mythe central, et depuis le XII^e siècle au moins, est le mouvement perpétuel.

Cette expression désigne une machine, souvent une roue, qui une fois lancée, ne s'arrête jamais de tourner. Le mouvement perpétuel ne désigne pas qu'une simple machine chimérique, c'est aussi et surtout le symbole de la tentative des inventeurs de machines de se placer en démiurge. Réussir à créer un mouvement perpétuel, c'est être capable de faire la vie, car la vie, pour les Platoniciens, c'est ce qui se meut de soi-même⁸⁸. Or le seul moyen de parvenir à faire en sorte que le mouvement s'autoalimente, est de parvenir à réaliser une machine qui ne soit jamais en équilibre, c'est donc réaliser exactement l'inverse de ce qui fait le cœur de la science mécanique, à savoir calculer un système en équilibre.

Les tentatives ont été nombreuses, et Leupold, nous le verrons, demeure ambigu sur la possibilité de réaliser ce mouvement perpétuel. Ce qui compte dans le discours de Leupold, c'est que la recherche, jusque là vaine, d'une machine de ce type, pousse de trop nombreuses personnes à perdre temps, argent, honneur et réputation, de façon considérable et inutile⁸⁹. Ce type de machine est, selon Leupold, à ce point connu et recherché à la fois, qu'il se sent obligé de lui dédier un assez long passage, de deux à trois pages à la fin du second chapitre du *Theatrum Machinarum Generale* (§58) sur le levier, afin d'éviter à d'autres de perdre du temps et de l'argent à vouloir développer des machines (qu'il décrit) qui n'apportent aucune plus-value à la mécanique. Il s'agit donc de détruire un des principaux mythes de la culture orale des "empiristes", à savoir « aussi bien les plus faibles ouvriers, que les cordonniers et les tailleurs qui non seulement savent en parler, mais aussi se disent qu'ils en veulent faire de telles, quand ils en auront les moyens et le temps. ». C'est ainsi sous couvert de philanthropie, pour éviter à ces artisans de perdre leur vie entière à rechercher une chimère, que Leupold prend la peine de revenir sur le mouvement perpétuel, et les problèmes rencontrés. En réalité, c'est à la

⁸⁸ L'autre point, dont nous ne parlons pas ici, car Leupold ne le mentionne pas, est l'automate, qui lui aussi est signe d'auto-mouvement, donc de vie. Mais il n'est pas réel. L'origine du mouvement est simplement cachée. Par ailleurs, c'est sans doute un mythe fondateur pour les horlogers davantage que pour les inventeurs de grosses machines.

⁸⁹ TM1, chapitre 2, §58. Texte original : „[viele Künstler] haben darüber [*Perpetuum Mobile*] viel Zeit, Kosten, jo öfters Ehre und Reputation verlohren.“

fois une accroche prometteuse, et une autre façon de mettre en avant la nécessité de son œuvre.

Il est intéressant de noter à ce propos, qu'après avoir défini brièvement le *Perpetuum mobile*, comme étant une machine qui se meut d'elle-même et sans apport d'énergie extérieure, il intègre celle-ci dans une liste de huit « éléments » (« *Stück* »), dressée par un certain D. Becher, qui auraient fait l'objet de convoitises de tout temps : « 1. La *pierre philosopale*, 2. La *liqueur alcahest*⁹⁰, 3. Rendre le verre mou, 4. Une lumière éternelle, 5. Une *ligne hyperbole* dans un miroir concave, 6. La *longitude* en mer, 7. La *quadrature du cercle*, et enfin, 8. Le *mouvement perpétuel*. »⁹¹. Sur ces chimères, et notamment la dernière, l'avis de Leupold est cependant plus ambigu qu'on ne pourrait le penser. L'impossibilité de réaliser un mouvement perpétuel n'est pas posée *a priori* : « Cependant, on ne dit pas que c'est impossible, notamment parce que monsieur le conseiller Orffyre en a déjà présentée un au monde il y a quelques années »⁹². Leupold mentionne ici les travaux de Johann Bessler, connu pour avoir construit trois roues tournant perpétuellement sur elles-mêmes. L'une d'elle a fait l'objet d'un test, que mentionne Leupold, et aurait été enfermée dans une salle scellée, avant d'être ré-ouverte deux mois plus tard, tournant encore. Cette expérience a fait l'objet d'une attestation publique, signée par « de grands princes »⁹³.

La porte est alors ouverte à une possibilité de créer l'impossible, de se faire démiurge. La motivation est de taille, et devrait permettre sans doute, comme le font les autres mythes, de séduire des mécaniciens. Hors de question cependant de laisser croire que l'accès à ce secret est facile. Seuls ceux qui sont à la fois bien formés et bons praticiens en mécanique pourraient réussir un tel exploit. Le mouvement perpétuel joue alors le rôle

⁹⁰ Chez les alchimistes, c'est un dissolvant universel qui ramène tout corps à sa matière fondamentale. Il a pour autre particularité de toujours revenir à sa forme première, même après son action sur les choses. On peut donc l'utiliser 1000 fois sans qu'il ne s'abîme.

⁹¹ TM1, chapitre 2, §58 : „D. Becher hat 8 Stück angeführet, wornach man jederzeit eifrig getrachtet, als da sind : 1. Der *Lapis Philosophorum*. 2. *Liquor Alcahest*, 3. Das Glass weich zu machen, 4. Ein ewiges Licht, 5. Eine *Linie Hyperbole* in einem Brenne-Spiegel, 6. Die *Longitudo* zur See, 7. Die *Quadratura Circuli*. Und endlich 8. Das *Perpetuum Mobile*.“

⁹² TM1, chapitre 2, §58. Texte original : „Inzwischen halte es doch nicht vor unmöglich, absonderlich weil der Herr Rath Orffyreus solches der Welt schon etliche Jahre zeiget...“

⁹³ TM1, chapitre 2, §58. Texte original : „solches mit hohen Fürstlichen warhen Worten durch öffentliches hohes Attestat bekräftiget als ein Fürst der selbst grosse Erfahrung und Wissenschaft in Mechanicis besitzt, und die Structur des Perpetui mobilis genau und wohl observiret, auch in die zwei Monat Proben in einem versiegelten Zimmer damit machen lassen.“

d'hameçon, pour amener certains à se consacrer à l'étude de la mécanique, d'une façon à la fois négative, en retirant à ceux qui ne font pas cette étude la possibilité de parvenir au mouvement, et positive, en pointant le nombre de mécaniciens formés par cet intérêt pour le mouvement perpétuel :

« (3) Que celui qui ne peut pas faire ce calcul [du mouvement perpétuel], ainsi que celui qui ne comprend pas les fondements de la *mécanique*, en reste là et abandonne ça à d'autre. Parce qu'il ne pourra que perdre temps et argent [...]. Ce dont je pourrais montrer beaucoup d'exemple.

Si cependant, parmi ces centaines, et même ces milliers, de chercheurs, un seul trouve le *mouvement perpétuel*, alors tous les efforts n'auront pas été vains, parce que beaucoup auront été conduits par ce biais à la *mécanique*, qui autrement n'y auraient pas pensé, ou ont appris, que l'homme ne peut pas, grâce à la mécanique, aller plus haut que Dieu l'a ordonné, et qu'avec une livre on ne bouge pas plus qu'une autre livre, mais qu'on ne peut que rester à l'*équilibre* ; mais que si on voulait faire plus, cela demanderait aussi plus de temps et d'espace. »⁹⁴

L'utilité principale des mouvements perpétuels est donc pour Leupold de motiver de jeunes personnes à la mécanique, et de leur apprendre quelques leçons fondamentales. C'est dans cette optique, et bien sûr pour éviter des dépenses inutiles de la part d'inventeurs ignorants, que Leupold décrit les plus classiques des mouvements perpétuels, à partir desquels travaillent souvent ceux qui recherchent un tel mouvement.

L'idée est assez simple, et c'est déjà celle qui était représentée sur une page d'un carnet de Villard de Honnecourt au XII^e siècle : après avoir fait une roue, on place des poids qui peuvent se mouvoir (souvent des boules, dans des compartiments, ou attachées à des bâtons, à des chaînes etc.), de telle sorte qu'une fois la roue lancée, il y ait toujours plus de poids "tombant" que de poids "montant", en jouant sur le nombre de poids bien sûr, mais aussi sur l'inertie (l'élan dirait-on à l'époque moderne) et la force centrifuge. Le problème est que la force "tombante", qui fait mouvoir la roue, doit non seulement permettre d'élever les autres poids, mais aussi supporter le poids de la roue et

⁹⁴ TM1, chapitre 2, §58. Texte original : „(3) Wer diese Berechnung nicht kann, auch *mechanische* Fundamente nicht versteht, gar davon bleibe, und es andern überlasse; denn er wird nur Zeit und Geld dabei verlieren, ja welches das schlimmste, wenig Ruhe haben. Wie ich viel Exempel anführen könnte. / Ob aber gleich unter so viel hundert ja tausend Suchenden kaum noch einer das *Perpetuum mobile* gefunden, so ist dennoch nicht alle Mühe umsonst, weil viele dadurch zur *Mechanic* angeführt worden, die sonst nicht daran gedacht hätten, oder haben erlernt, dass es der Mensch in der Mechanic nicht höher bringen kann, als Gott geordnet, und dass mit 1 Pfund nicht mehr als wieder 1 Pfund, ja nicht einmahl bewegt, sondern nur *in aequilibrio* kann erhalten werden; so aber mehr damit geschehen sol, auch mehr Raum und Zeit darzu sein muss.“

le frottement que génère sa rotation, et ce que peu d'auteurs précisent, le frottement de l'air. Tous les problèmes majeurs de la mécanique, dont la physique aristotélicienne avait du mal à rendre compte, sont donc présents dans cet exercice, dont il n'a pas encore été démontré qu'il était insoluble⁹⁵. C'est donc pour Leupold, un bon moyen d'amener certaines personnes à s'intéresser aux théories mécaniques, ou au moins d'en retenir certaines maximes :

« Du reste, il est à rapporter à tous ceux qui cherchent encore constamment le *mouvement perpétuel* :

- (1) Qu'ils le font avec les plus *simples* des *machines*, parce que plus la *machine* est composée, plus elle a de clous, de dents et de *matériaux*, plus petit sera le *mouvement perpétué*, et quand cela n'arriverait pas par la *simplicité*, la *composition* restera toujours la même à l'extérieur.
- (2) Qu'aucun ne se fait par le travail, car il a bien examiner son *invention* sur le papier, son *frottement*, son repos, la *force centrifuge* ou comment les corps sont mus en cercle, précipités vers la *périphérie*, l'écart et tout le reste ayant été bien mesuré et montré par le *calcul*. »⁹⁶

Ces deux leçons générales, l'une portant sur la nécessité d'alléger les machines et l'autre sur la nécessité de bien distinguer et calculer les différentes valeurs physiques en jeu sonnent comme un programme pour toute conception de machines. Depuis Salomon de Caus, déjà, la simplicité, c'est-à-dire en mécanique, l'idée de limiter la composition d'une machine à un petit nombre de mécanismes, était prônée comme étant une vertu majeure de tout concepteur de machines. Alors que le frottement était devenu un souci majeur des inventeurs et des savants de la fin du XVII^e siècle, la simplicité était devenue une maxime quasi-inviolable des mécaniciens, mais si Leupold la reprend encore ici à son compte, c'est qu'elle n'était sans doute pas toujours respectée, et que c'est une règle qu'il faut sans cesse rappeler. La deuxième leçon à tirer, sans surprise, est qu'il faut

⁹⁵ Un grand savant Newtonien, comme Gravesand, était un ardent défenseur de Johann "Offyre" Bessler et de sa roue, dans laquelle il voyait la preuve de la possibilité d'un mouvement perpétuel, contre d'autres, qui accusaient Bessler de supercherie. Tout porte à croire que la roue de Bessler suivait un principe similaire aux "mouvements" présentés par Leupold, et notamment les dessins de son carnet, disponible sur un site de W.G. McMurtry <http://www.offyre.com/>.

⁹⁶ TM1, chapitre 2, §58. Texte original : „Ubrigens ist allen, so das *Perpetuum mobile* noch beständig suchen, zu hinterbringen : / (1) dass sie solches mit allensimplesten *Machinen* thun; denn je mehr die *Machine* übersetzt ist, je mehr sie Zapfen, Zähne und *Materialen* hat, je weniger wird der *Motus perpetuus* erhalten werden, und wenn es nicht in der *Simplicität* geschiehet, wird es in *Compositione* wohl ewig aussen bleiben. / Feiner (3) dass keiner sich an die Arbeit mache, er habe denn seine *Invention* auf dem Pappier wohl *examiniret*, *Friction*, Ruhe, die *Centrifugation*, oder dass die Körper so im Circkel bewegt werden, nach der *Péripherie* eilen, den Abstand und alles wohl aus und abgemessen, und den *Calculus* gezogen.“

s'astreindre au calcul, et donc à l'apprentissage des théories mécaniques si on veut réaliser un mouvement perpétuel, et de façon plus générale, si on veut être un bon mécanicien.

Si le mouvement perpétuel apparaît ici comme un prétexte à des développements théoriques nécessaires (sur le frottement notamment), cela n'est cependant pas le cas de toutes les croyances des empiristes. Leupold ne manque pas de pointer les erreurs qu'une sorte de bon sens mécanique, issu d'autres "croyances" que le mouvement perpétuel, pourrait laisser paraître comme justes. C'est notamment le cas de la manivelle.

Dans le neuvième chapitre du premier tome, Leupold revient en détail sur la manivelle, qu'il considère comme « un levier qui se meut en rond »⁹⁷. Ainsi, dans la logique du levier, seule la distance de la poignée au centre de l'axe de la manivelle joue un rôle. Peu importe alors la forme de ladite manivelle et la longueur totale du bras courbé. Cependant Leupold relève que cette affirmation heurte une croyance des artisans :

« La longueur et la courbure du bras ne sont en rien utiles à *l'effet*. J'ai cependant observé qu'on avait fait de telles [manivelles] courbées, qu'on les avait fabriquées parce que les manouvriers ont toujours été dans l'illusion, que la manivelle fonctionnerait alors plus longtemps et ferait plus *d'effet*. On dit aussi là-dessus que la manivelle courbe ploie moins facilement que la droite, parce que les pièces de fer avaient déjà été étirées par la courbure ; seulement parce qu'un long morceau, comme l'est la courbure, ploie plus facilement qu'un court, je doute qu'il y ait là le moindre *profit*. »⁹⁸

Leupold s'attaque ici à une petite croyance, largement ancrée chez plusieurs travailleurs semble-t-il. La suite du chapitre vise d'ailleurs en partie à prouver, par l'expérience, que ni la courbure, ni la taille de la manivelle ne jouent un rôle et que seule la distance de la poignée à l'axe est à considérer (voir Figure 37 : p. 347), la suite consistant

⁹⁷ TM1, chapitre 9, §147. Texte original : „Eine Kurbel ist nichts anders als ein Hebel, so in die Runde bewegt wird.“ Cette définition s'appuie sur la mise en place d'un référent levier très important. Voir « Définir des référents et leurs parties », p. 364.

⁹⁸ TM1, chapitre 9, §148. Texte original : „nützt also die Länge und Krumme zum *Effect* gar nichts. Dass man aber solche krumm gemacht, erachte ich, dass es daher entstanden sei : Weil die Handwercker allezeit im Wahn gestanden, und auch noch, die Kurbel werde dadurch länger, und thue viel mehr *Effect*. Man hält ferner dafür, die Krumme Kurbel biege sich nicht so leichte als die gerade, weil die Theile des Eisens durch das Biegen schon mehr gespannt wären; allein weil ein lang Stück, als wie der Bogen ist, sich leichter biegen lässt, als ein kurzes, so zweifle ich, ob dadurch was zu *profitiren* ist.“

dans le calcul de la force nécessaire à l'usage de la manivelle en différents points (avant de la descendre/pousser, avant de la monter/tirer, etc.).

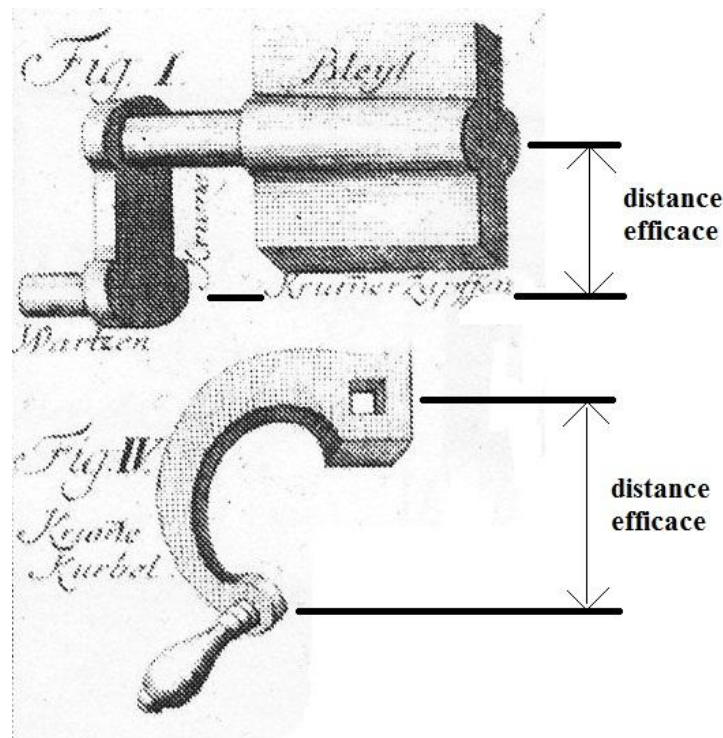


Figure 37 : Extrait de la planche XXI de Jacob Leupold, *Theatrum Machinarum Generale*, Leipzig, 1724.

Pour autant, force est de constater, et sans doute à la déception de Leupold, que les croyances des artistes ont parfois la vie dure, malgré les démonstrations mathématiques. Lui-même est d'ailleurs ambigu dans sa représentation des manivelles, qui sont toujours dessinées courbes, sauf quand elles sont liées à des bielles. Mais, c'est sans doute dans sa confrontation avec d'autres artistes et ouvriers que se révèle la force des croyances mécaniques, ancrées de longue date, comme en témoigne une anecdote que Leupold raconte à propos d'un balancier.

Les balanciers suivent aussi le principe du levier, à ceci près qu'on fait jouer l'inertie du mouvement du bras par l'utilisation d'un poids. C'est pourquoi, exactement comme pour la manivelle, seule la distance de l'axe au poids joue un rôle. Pourtant, à la fin de son chapitre sur les balanciers, Leupold mentionne encore l'illusion de nombreux travailleurs et maître-maçons (*Baumeister*) quant à l'utilité d'une forme courbe pour les balanciers. Ainsi présente-t-il :

« Encore une très *curieuse* façon [de balancier] présentée sur la *figure IX*, qui fût faite par un forgeron dans un lieu réputé par sa sagesse, où il a *étudié* il y a bien longtemps, comme il le dit lui-même, et qu'il *défendait* aussi contre moi avec la plus grande véhémence. Aussi aimait-il tant [son balancier], qu'il ne pût pas reconnaître la claire *démonstration* et *expérience*, que je fis devant lui. »⁹⁹

La scène mérite que nous nous y arrêtions. Elle démontre en effet le scepticisme de l'auteur face au témoignage du forgeron, qui aurait étudié dans un temps lointain, dont l'imprécision est accentuée par l'incise « comme il le dit lui-même ». Elle montre surtout que Leupold cherche à convaincre des artistes de la justesse des théories qu'il cherche à leur enseigner à l'aide de démonstrations mathématiques et d'expériences. La véhémence de la défense du forgeron, et son refus de reconnaître la validité des travaux de Leupold, est elle-aussi intéressante, car elle témoigne sans doute de l'agressivité qu'oppose l'artiste à cette intrusion dans son savoir, sans doute très mal perçue.

Se pose alors la question de la pertinence de l'enseignement théorique de Leupold et de son véritable impact sur l'économie et les consciences mécaniciennes, sujet qui nécessiterait de nouvelles études que nous ne menons pas ici. Toujours est-il que, pour Leupold, ce refus d'admettre ce que la science propose comme aide à la mécanique sonne comme un défi, un défi qui le pousse à développer une pédagogie adaptée pour permettre à ceux qui le souhaitent de s'extraire de ces croyances, et plus largement d'un régime pratique de pensée opératoire¹⁰⁰.

⁹⁹ TM1, chapitre 11, §174. Texte original : „Noch eine viel *curiöser* Art muss unter der IX. Fig. zeigen, die von einem Schmidt an einem gewissen Ort nach seiner Weisheit, worüber er lange Zeit, wie er selbst sagte, *studiret* hätte, gemacht war, und die er auch gegen mich mit der größten Heftigkeit *defendirte*, auch so gar derein verliebet war, dass er auch deutliche *Demonstration* und *Experimente*, die ich ihm dargegen machte, nicht erkennen konte.“

¹⁰⁰ Voir note 23, p. 70.

Chapitre 10 : Une pédagogie technologique, éléments généraux

À plusieurs reprises, Jacob Leupold insiste sur le fait qu'il écrit d'abord pour des personnes non formées, et qui n'ont pas le loisir, le temps nécessaire, pour entreprendre un cursus scolaire depuis le départ. L'ambition n'est pas tant d'apprendre des choses nouvelles que de diffuser des connaissances déjà bien développées par ailleurs, il ne faut pas chercher « dans cet ouvrage plus que ce qu'on doit trouver »¹. Plusieurs points ressortent régulièrement dans les *Theatri* qui permettent de mettre en lumière les principes généraux de sa pédagogie, qui doit donc être simple, et surtout multiple, utilisant tous les outils possibles : bibliographie, définitions, exercices, modèles, images, et si possible un langage simple.

Une méthode d'apprentissage mêlant théorie et pratique

Leupold – comme Wolff – cherche à concilier théorie et pratique dans son enseignement : utilité des mathématiques et nécessité d'une connaissance matérielle. À la différence du programme de son ami, cependant, le programme de Leupold n'est pas de former des étudiants aux mathématiques mais d'amener des travailleurs ordinaires à une meilleure connaissance des théories et de la mécanique. Leupold axe donc davantage sa pédagogie sur la pratique que ne le faisait Wolff :

« Premièrement, il est à savoir, qu'on n'a pas avec ses fondements comme dessein principal de servir aux érudits et experts en mathématiques [...] mais on souhaite bien plus servir aux artistes, ouvriers et gens de la sorte [...] Deuxièmement, pour cette raison, on n'a pas toujours lié solidement ces machines à un enseignement mathématique, mais de la façon la plus commode qu'on trouvait, et tel qu'on croit qu'il est plus facile à de telles personnes de comprendre. »²

¹ TM1, préface. Texte original : „Damit man aber in diesem Buch nicht mehr suchet als man finden soll.“

² TM1, préface. Texte original : „Erstlich ist zu wissen, dass man mit diesen Fundamenten seine Absicht hauptsächlich nicht auf die Gelehrte und erfahrene Mathematicos gerichtet [...] sondern man hat vielmehr sein Absehen gerichtet auf Künstler, Handwerker, und dergleichen Leuthe [...] Derowegen hat man sich auch zum andern nicht allezeit an eine mathematische Lehr-Art fest gebunden, sondern wie es am bequemsten vorkommen, und man vermeinet dass es

Ce souci pédagogique le conduit à mettre en place plusieurs méthodes discursives sur lesquelles nous reviendrons, mais cela explique aussi une certaine insistance sur la nécessité de connaître les choses par l'expérience. Ainsi conseille-t-il la lecture, et souhaite-t-il la réédition de la *Schlüssel zur Mechanic* (*Clé de la mécanique*) d'Andréa Jungnickel, publiée en 1661, plus de cinquante ans avant son premier théâtre. De ce livre, écrit sous la forme alors très pratiquée du dialogue, Leupold fait l'éloge, car il permet à ceux « qui ne possèdent ni géométrie, ni autre connaissance du même genre » de bien comprendre les machines simples, grâce à la pratique et l'expérimentation (*Probe*), et sans qu'il soit nécessaire de faire beaucoup de démonstrations mathématiques³. En insistant ainsi sur la pratique et l'expérience, il semble alléger l'aspect déductif de son ouvrage, renvoyant sur ce point le lecteur aux *Anfangs-Gründen* de Wolff, au profit de la valorisation d'une compétence inductive, permettant d'opérer des montées en généralités théoriques. Une façon de penser qui n'est pas sans rappeler celle d'Agricola, et que Leupold souhaite voir se développer dans l'esprit des plus jeunes :

« Ceux qui possèdent un esprit exercé, et un peu d'arithmétique et qui souhaitent faire quelque chose d'utile en géométrie peuvent se servir de l'abrégé des *Anfangs-Gründe* du conseiller Wolff.

Pour les jeunes garçons, qui, pour la plupart, ont du goût pour ces choses mouvantes, on peut utiliser ce livre comme une récréation, en leur présentant d'abord, seulement à partir des figures, les relations les plus faciles, et de là les laisser à d'autres machines, sur lesquelles ils désirent exercer et user de leur propre jugement : lequel sert non seulement à apprendre la mécanique, pour ainsi dire en jouant, mais aussi à aiguïser l'*ingenium*. »⁴

solchen Leuthen am leichtesten zu begreifen sei.“

³ TM1, préface. Texte original : „Zum dritten ist von solchen Schrifften bekannt Andrea Jungnickels Schlüssel zur *Mechanic*, so zu Nurnberg [sic] 1661 in 4to. Heraus kommt, ist 3 *Alphab.* Starck, mit eingedrucken *Figuren*. Er erkläret darinnen Gespräch-weise nicht nur die Fünff *ordinairen* heb-Zeuge durch eine gar leichte Art, dass auch einer, derweder *Geometrie* noch andere dergleichen Wissenshefften besitzt, es ziemlich begreifen kann, hat vielerle, nützlichen Anmerkungen, die er *in Praxi* und *Probe observiret*. Es kann dieses Buch von jeden der ohne viele *mathematische Demonstrationes* sich *ad praxin* bereiten will, mit gutem Nutzen gelesen werden, und wäre zu wunschen, dass es wieder aufgelegt würde.“ Notons que plusieurs expériences décrites par Leupold semblent tirées de l'ouvrage de Jungnickel.

⁴ TM1, préface. Texte original : „Diejenigen aber, so geübte Sinne, und wenigstens die *Arithmetic* inne haben, und gerne vor sich, wegen Mangel einiger *Information*, etwas nöthiges in der *Geometrie* thun wollen, können sich des herrn Hofrath Wolffens *Compendii* seiner Mathematischen „Anfangs-Gründe“, mit guten Nutzen, weil alles sehr deutlich und leicht darinnen vorgetragen ist, bedienen. Bei kleinen Knaben, die mehrentheils Beliebung zu solchen beweglichen Sachen tragen, kann man solches Buch nur zur *Recreation* brauchen, ihnen erstlich nur aus denen *Figuren* die leichtesten Verhältnisse beibringen, und hernacher bei andern *Machinen* überlassen, dass sie ihr *Judicium* selbst brauchen und üben mögen, welches nicht nur dienet die *Mechanic* gleichsam spielend zu erlernen, sondern auch das *Ingenium* zu schärfen...“ Wolff est le seul auteur à être cité deux fois dès la préface.

Leupold suit ainsi Wolff sur la nécessité de commencer un enseignement par la pratique régulière⁵, l'habitude des figures et l'exercice du jugement personnel, avant d'entrer dans l'explication mathématique théorique, pour laquelle il renvoie directement au professeur de Halle. En faisant de l'habitude de voir des machines, non seulement un moyen de faciliter une compréhension qui pourrait être ultérieurement complétée, mais surtout une façon de favoriser la capacité intellectuelle à en concevoir de nouvelles (stimuler l'*ingenium*), Leupold va plus loin que Wolff sur le rôle de l'expérience. En nommant la faculté intellectuelle qui permet cette opération cognitive inductive (l'*ingenium*), il opère la fusion entre la tradition des théâtres de machines renaissants et celle de la technologie allemande. Les premiers s'étaient justement donné pour objectif de stimuler l'*ingenium* des divers inventeurs, de leur montrer les possibilités cinématiques. Leupold, s'il critique les machines de ses prédécesseurs, n'en demeure pas moins dans une certaine continuité de pensée, faisant de la multitude des exemples un moyen de développement de l'intuition. Les seconds cherchaient les principes dans les sciences physiques et mathématiques. Ainsi, s'il insiste sur les théâtres dans un premier temps, Leupold n'en oublie pas pour autant l'intérêt des mathématiciens, et après Jungnickel, il cite les Sturm et bien sûr Wolff. C'est qu'il accorde à la théorie une place conséquente, comme il ne cesse de le dire. Par exemple, quand, dans son cinquième tome, il dresse une histoire de la mécanique pour montrer combien celle-ci se place au dessus de tous les arts, il emprunte à Conrad Dassipodius, un professeur de mathématiques strasbourgeois du XVI^e siècle, connu pour avoir conçu l'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg, un long discours qui « traite autant de théorie que de pratique »⁶. L'égalité des deux est donc affirmée avec force, et si l'accent est sans doute un peu plus mis sur l'aspect inductif de la pratique, Leupold ne néglige jamais la science et l'aspect déductif si cher à Wolff, comme le montre d'ailleurs ses conseils bibliographiques et l'organisation générale que le marchand d'instruments donne à son œuvre.

⁵ Voir « Wolff et le modèle d'une technologie qui ne dit pas son nom », p. 324.

⁶ TM5, préface. Texte original : „so habe vor billig erachter eine weitläufftige Beschreibung und *Historie* der *Mechanic* hiebei zu fügen [...] weil man mich aber leichte einer Parthenlichkeit hätte beschuldigen können, so habe lieber eines andern Worte und Arbeit brauchen wollen, und zwar eines solchen Mannes der so viel *in Theorie* als *Praxi* das seine *praestiret*...”

Rendre compte des savoirs connus

Leupold conçoit son œuvre comme un lieu unique où des personnes peu instruites, ne sachant pas lire le latin pour la plupart, peuvent trouver les informations qu'ils souhaitent pour améliorer leurs compétences en mécanique. L'idée principale est celle d'une économie de temps et de moyens dans l'apprentissage, l'auteur prenant en compte le manque de loisir des travailleurs pour la recherche des livres utiles à telle ou telle chose, et dont les titres, nous l'avons vu, ne portent pas les artistes à s'y intéresser. La mission que Leupold se donne est non seulement de rassembler les informations éparses, mais surtout de les actualiser et de vérifier leur justesse. Le résultat, nous le savons, est un épais in-folio de plus de 250 pages, complété année après année par d'autres volumes, non moins épais. La question se pose alors, comme pour les théâtres de machines renaissants, du prix réel de tels ouvrages. Au début de la tradition allemande, Heinrich Zeising avait expliqué qu'il imprimait volontairement en in-quarto pour limiter le prix de son ouvrage. Rien de ce genre n'est précisé pour Jacob Leupold, qui, vraisemblablement, compte davantage sur le soutien d'Auguste-le-fort pour financer en grande partie le projet.

Par ailleurs, Leupold déplore qu'il y ait si peu de livres en allemand traitant de ces sujets, que ce soit du point de vue pratique ou théorique. Aussi, afin de faciliter le travail de ceux qui sont intéressés par les bases de la mécanique, propose-t-il, à côté de son premier livre, plusieurs ouvrages à étudier. Il en fait de même dans les autres tomes sur les différents sujets traités, comme par exemple le livre de Gauthier sur les ponts⁷, ou les « *theatri* » antérieurs, bien qu'il les dénigre parfois. Par ailleurs, une meilleure attention au contenu des ouvrages montre qu'il connaît, et cite, de nombreux travaux, comme ceux de Gravesand, connu pour avoir introduit Newton dans l'espace allemand, ou certains travaux étrangers, et notamment français (Amontons, Papin), sur lesquels nous reviendrons. Cependant, jamais la liste n'est aussi nourrie et clairement établie que pour le premier tome, et elle mérite que nous nous y arrêtions.

⁷ Hubert GAUTHIER, *Traité des ponts*, *op. cit.*

La liste commence avec le commentaire de l'*Architecture* de Vitruve de D. Gualteri Herminii Rivii, paru de façon autonome sous le nom de *Traité de l'entendement juste de la balance et des poids*⁸ (1606), dont le titre laisse supposer une forte influence de la *statique* classique. Il conseille aussi la lecture du début des *Theatri Machinarum* d'Heinrich Zeising. Ces deux ouvrages donnent beaucoup de règles, mais, pour Leupold, ils sont inutiles à ceux qui connaissent déjà bien pratique et théorie telles qu'il les développe. Suit la première partie du *Cabinet de mécanique* (« *mechanischer Kunst-Kamer* ») de Daniel Mögling, médecin de la cour de Hesse-Cassel, paru en 1629 et *La clé de la mécanique* (« *Schlüssel zur Mechanic* ») d'Andrea Jungnickel, paru en 1661, qui reviennent sur les machines simples de la mécanique. Le premier, quoique critiqué, garde un intérêt pour certaines remarques et démonstrations « qu'on chercherait vainement ailleurs »⁹. Le second, nous l'avons vu, a l'intérêt de développer ces principes par une approche plus pratique que théorique, qui conviendrait donc davantage aux débutants.

Les ouvrages cités ensuite sont ceux de mathématiciens, et d'abord les *Mathesi juvelini* (*Les mathématiques pour les jeunes*), de Johann Christoph Sturm (le père), paru en 1699. Il peut paraître surprenant de trouver dans cette liste un ouvrage au titre latin, alors que Leupold prône l'emploi de la langue vernaculaire pour diffuser le savoir auprès de ceux qui ne sont pas instruits. C'est que si le livre avait été publié une première fois en latin, il a été traduit en allemand en 1714¹⁰. Par ailleurs il mentionne aussi les œuvres de Leonhard Christoph Sturm (le fils), et enfin, « dernier écrit sur la question »¹¹, les *Anfangs-Gründes* de Wolff, paru en 1710.

De cette liste, et surtout des remarques qui en sont faites, nous voyons que Leupold cherche à sélectionner des ouvrages généraux, de différents niveaux et de différentes sortes, et si possible assez simples, pour pouvoir proposer au lecteur débutant en

⁸ C'est le même ouvrage que cite Heinrich Zeising au début de ses *Theatri*: Gualtherus H. RIVIVS, *Von rechtem Verstand, Waage und Gewicht etliche Büchlein zu sonderlichem verstandt Künstlicher Mechanischer invention der Geometrischen messung angehenckt*, op. cit.

⁹ TM1, préface. Texte original : „Er [Mögling] hat alles sehr weitläufftig und ausschweissend abgehandelt, sonderlich von der Waage viel besondere Anmerckungen und Demonstrationes gemacht, die man anderswo vergeblich suchen wird.“

¹⁰ Leupold écrit « 1617 », ce qui est impossible, Sturm père étant né en 1635. Peut-être voulait-il écrire 1717 et mentionner ainsi une autre édition, qui nous est inconnue.

¹¹ TM1, préface. Texte original : „Die neueste Schrifft hiervon hat Herr Hoof-Rath Christian Wolff, [...] heraus gegeben.“

mathématiques et en mécanique des références différentes, afin non seulement qu'il y puise un savoir complet, mais aussi qu'il y trouve la démarche qui lui serait la plus facile : la diversité des choix éditoriaux, des démarches et des orientations permettrait ici de renforcer l'aspect double de sa pédagogie, mêlant théorie et pratique.

Le plus surprenant, cependant, est de voir le peu d'occurrences de ces mêmes ouvrages dans le corps du texte de ce volume comme des suivants. Cette liste lui sert à désigner non tant ses sources que les jalons à la fois de plusieurs traditions dans lesquelles il s'inscrit, et d'une culture générale en mécanique. Elle lui sert aussi, avec l'aide de quelques piques envers la qualité générale médiocre de certains ouvrages, à mettre en avant son propre ouvrage, censé faire une juste synthèse des résultats de ces différents titres, n'y prenant que le meilleur.

Cela dit, malgré les références à ces ouvrages d'auteurs différents de lui-même, les *Theatri* demeurent une œuvre rédigée par un seul homme. Leupold est d'ailleurs conscient des problèmes que cela pose, car :

« 1) Tous les écrits ne sont pas acquis ni lus en une fois ; 2) Toutes les pensées et les bonnes idées viennent en leur temps, aussi les dernières sont souvent les meilleures, de même ; 3) Il est impossible qu'un homme sache tout, et il doit toujours apprendre par les expériences ou par d'autres, aussi espérons que quelques remarques ou cotisations seront envoyées par l'un ou l'autre. »¹²

La critique de cette situation ne porte pas d'abord sur le défi intellectuel que représenterait le fait de rendre compte de spécialités si différentes pour un seul homme, car cela serait contraire à sa vision d'un mécanicien capable de comprendre l'ensemble des arts. Les remarques mettent davantage en avant une question de temps et de rythme, à la fois de compréhension, de réflexion et de réalisation des expériences. Cela pose la question du temps de la publication. Plusieurs indices pourraient laisser supposer que Leupold aime son travail de recherche continue, débuté, de ses propres dires, douze ans auparavant, et qu'il ne s'est astreint à la rédaction de ces traités que pour raisons extérieures, soit qu'il était conscient de la fragilité de sa santé, soit, plus sûrement, parce qu'il était pressé par ses commanditaires. Ne dit-il pas en effet, à la fin de la préface qu'il

¹² TM1, préface. Texte original : „1) nicht alle Schrifften hiervon auf einmahl zu erlangen, oder zu lesen, 2) alle Einfälle und gute Gedancken zu einer Zeit können, auch die letzten meist die besten sind, ingleichen 3) unmöglich, dass ein Mensch alles wisse, und also immerdar durch Experimente oder von andern lernen muss, auch hoffentlich von einem und dem andern einige Anmerckungen oder Beitrag dörfftezugescheckt werden.“

aurait souhaité continuer ses expériences et ses développements théoriques, mais qu'il devait, pour satisfaire ceux que seule la pratique ou la curiosité intéressent, se contraindre à décrire des machines¹³ ? Par ailleurs, la succession rapide des tomes se fait selon un rythme accéléré. Ils sont édités de plus en plus rapidement, comme en témoigne l'évolution de sommaires écrits de plus en plus précipitamment. Aussi n'a-t-il pas eu pour chaque tome, les trois ans qu'il a pris pour rédiger et corriger ce premier volume. Pour palier à cette précipitation et au fait qu'il n'ait pas le temps de développer tout ce qu'il aimerait développer, Leupold en appelle donc à un appendice, et peut-être à une réédition dans laquelle il corrigerait et modifierait des parties, quand le temps le lui permettra et qu'il sera bien installé.

La réédition aura lieu, mais de façon posthume et, semble-t-il, sans modification ni ajout majeur. Quant à l'appendice, le sixième tome si particulier, pourrait en être un aperçu, qui développe les principes de la *statique* appliquée aux différentes forces motrices (eau, air, poids). Il est encore complété, mais sur des sujets plus "pratiques", par le tardif *Supplementum*, publié une douzaine d'années après sa mort par Joachim Ernst Scheffler.

C'est seulement quand il mentionne cet appendice à venir que notre constructeur d'instruments accepte de faire appel à ceux qui sont expérimentés dans les arts (« *Kunst-erfahrner* »), afin qu'ils lisent l'ouvrage avec attention et diligence, et notifient bien à l'auteur :

« 1. Ce qui leur semble imparfait ou vague. 2. Où il leur semble que sont omises d'utiles *démonstrations*, *expériences* et *machines*. 3. Où on s'est assez trompé ou perdu ; (car se tromper est humain) »¹⁴

Cette aide des hommes expérimentés se concentrerait donc avant tout sur la correction et l'actualisation des ouvrages, plus que sur une co-rédaction. Leupold tient

¹³ TM1, préface. Texte original : „Man hätte zwar lieber mit denen Theilen fortgefahren, so noch zum *Fundament* anführen, als der *Static* und *Hydrostatic*, oder eine *Continuation* und weitere Ausführung des ersten Theils; allein, weil die allermeisten nur *Practica* und *curieuse Maschinen* suchen [...] auch dieser Theil nicht so begierig gesucht, als die andern gewünscht worden, so hat man dergleichen *resolviren* müssen.“

¹⁴ TM1, préface. Texte original : „Dahero nochmahls jeder Kunsterfahrner ersuchet wird, aus Liebe zur Kunst und Aufnahme des gemeinen Wesens, sich sie Mühe zu nehmen, das Werk mit Fleiss und *Attention* zu lesen, auch wohl zu *notiren* : 1. Was ihm unvollkommen oder undeutlich scheint. 2. Wo ihm dünket, dass nöthige *Demonstrationes*, *Experimenta* und *Machinen* weglassen. 3. Wo man sich etwa gar geirret und vergangen; denn (irren ist menschlich) und dasselbe dem *Autori* gütigst zu *communiciren*“

vraisemblablement à rester maître de son œuvre. Et il est intéressant de noter à ce propos que Leupold, qui déclare avoir beaucoup et sûrement travaillé, retire ses propres inventions de l'aire de cette correction : celles-ci ne devraient pas, du moins espère-t-il, avoir le défaut des autres discours qu'il développe sur les autres machines.

Plus important à noter est la motivation qu'il demande à ces hommes expérimentés. Il n'offre pour cette contribution, aucun dédommagement financier. La relecture par les pairs, si le lecteur nous permet cette expression un peu anachronique, doit être gratuite, et se faire par amour pour l'art (pour les arts mécaniques ici). Il s'agirait d'une sorte de garantie que l'ouvrage sera lu avec attention et amené à une plus grande perfection sur les points où il est obscur, le tout afin que cet art acquiert une plus grande renommée. Et c'est là la seule véritable motivation à laquelle les contributeurs du projet de Leupold doivent se fier : le désir d'améliorer la perfection et la gloire de la mécanique. Une motivation qui n'est toutefois pas si gratuite que cela, puisqu'elle sert directement les intérêts de ces savants et mécaniciens. En associant leur nom, qui « sera remémoré avec gloire dans l'appendice »¹⁵, à l'œuvre de Leupold, ces "expérimentés dans les arts" non seulement profite à, mais profite aussi de, la notoriété et renommée des *Theatri*, et par ricochet, de la mécanique dans son ensemble, pour l'institutionnalisation de l'enseignement de laquelle milite cette œuvre.

Bien que rien d'explicite ne soit précisé, nous ne pouvons pas écarter l'hypothèse selon laquelle contribuer à cette œuvre serait aussi une façon de « se placer » dans les universités allemandes, qui sont amenées à créer des chaires de sciences camérales et de mécaniques dans les années suivantes de ce XVIII^e siècle. Nous pourrions y voir une confirmation de cette hypothèse quand Leupold mentionne la nécessité d'un temps disponible pour travailler, un temps, qui pourrait aussi être un lieu : une chaire universitaire. Cela expliquerait notamment pourquoi Leupold tient relativement à distance les potentiels co-auteurs de son projet, et pourquoi il parle d'un temps où il serait « bien installé »¹⁶. Quoi qu'il en soit, c'est bien dans l'optique d'un apprentissage, si ce n'est

¹⁵ TM1, préface. Texte original : „welcher [Kunst-erfahrner] solches nicht nur mit schuldigen Danck annehmen, sondern auch im Anhang oder Fortsetzung dessen mit Ruhm gedencken wird.“

¹⁶ TM1, préface. Texte original : „Das aber noch vieles zu verbessern und beizutragen sei, hat der *Autor*, als er dieses Werck itzo bei der *Correctur* wieder durchgelesen, was er schon vor drei Jahren *concupiret* hat, selbst gesehen, und vieles gefunden, so er würde theils geändert, theils weiter erkläret haben, wenn es die kurze Zeit, so einmahl feste

encore un enseignement institutionnel qu'écrit Leupold, et qu'il développe dans ses tomes une pédagogie particulière.

De la théorie aux machines, organisation de la collection

Les *Theatri* de Leupold étaient construits et pensés bien avant leur rédaction, marquant l'aboutissement de plusieurs années de travail, aussi n'y a-t-il rien d'étonnant à ce que sa collection, qui veut embrasser toutes les connaissances liées à la mécanique, soit organisée et planifiée. L'organisation globale de la collection est principalement thématique, divisant et ordonnant les différents domaines de l'ingénieur d'une façon plus claire que ne l'avaient encore jamais écrit les auteurs de théâtres de machines. Mais ce souci encyclopédique, dans le plein sens du terme, d'ordonnement se traduit surtout dans l'organisation interne de chaque volume.

Le premier tome peut ici être considéré comme une introduction. En effet, ce *Theatrum machinarum generale*, titre que nous pourrions traduire par *Théâtre des machines [classées] par genre*, appelé en allemand *Théâtre des fondements des connaissances mécaniques* (voir plus haut), est, d'après le long-sous-titre du livre :

« Un guide clair de la *mécanique* ou art du mouvement, dans lequel non seulement on explique les cinq machines simples et les instructions utiles à leur emploi, on note minutieusement tous les événements produits, et on fournit la preuve de leur *application* dans des *machines* particulières, mais dans lequel sont aussi décrites les dites énergies externes [par opposition aux puissances internes que sont les machines simples] des hommes, des animaux, de l'air, du feu, de l'eau, des poids et des ressorts, avec leurs propriétés utiles et les *machines* qui leurs sont liées. Le tout augmenté de remarques nombreuses et utiles et de nouvelles *inventions* et *machines* particulières, dressées pour les yeux avec des figures claires et nombreuses, par Jacob Leupold, du *plat pays de Misnie* [Meissen] »¹⁷

Il s'agit donc bien ici d'un guide pour les tomes ultérieurs. Fidèle à ce que décrit Wolff, qui plaçait d'abord les grandes disciplines mathématiques (arithmétique,

gesetzt war, hätte *permitteren* wollen.“

¹⁷ TM1, page de titre. Texte original : „*Theatrum machinarum generale*. Schauplatz des Grundes Mechanischer Wissenschaften, das ist : Deutliche Anleitung zur *Mechanic* oder Bewegungs-Kunst, darinnen nicht nur die Fünff einfachen Rüst-Zeuge und die dabei nöthigen Lehr-Sätze deutlich erkläret, alle vorfallende Begebenheiten umständlich bemercket, und deren *Application* an besondern *Machinen* erwiesen, sondern auch die so genannten äusserlichen Kräfte, als der Menschen, Thiere, Luft, Feuer, Wasser, Gewichte und Federn, nebst ihren hierzu dienlichen Eigenschaften und gehörigen *Machinen* beschrieben werden; Alles mit viel nützlichen Anmerkungen und besonderen neuen *Inventionibus* und *Machinen* vermehret, und mit vielen Figuren deutlich vor Augen gestellt von Jacob Leupold, *Planicia Misnico*.“

géométrie), avant les mathématiques appliquées à certains arts (architecture, statique), Leupold commence par donner la théorie, avant de « l'appliquer » aux machines de différents genres. Cette démarche de la théorie à l'application est d'abord interne au premier théâtre lui-même, et nous verrons comment Leupold passe des définitions à la théorie, et de là aux exercices pratiques et aux machines ; mais c'est aussi celle de tous les autres volumes et de l'œuvre dans son ensemble.

De ce dernier point de vue, le premier théâtre joue le rôle de socle, définissant des référents généraux et imposant la double nomenclature des puissances internes (les cinq machines simples et leurs mécanismes dérivés : balance, manivelle, cric, etc.) et des énergies externes (les forces motrices et les différents moulins et manèges qui permettent d'en tirer parti). Ce dernier développement sur la mesure des énergies motrices et les différents moteurs qui y sont associés connaît deux prolongements. Dans le second tome d'abord, spécifiquement dédié à l'hydraulique, sont détaillées les façons de conduire l'eau, de mesurer et de contrôler son débit afin de réaliser des moteurs hydrauliques dans de bonnes conditions. Dans le sixième tome ensuite, rédigé avec plus de précipitation, les autres énergies, comme l'air ou les poids, font l'objet d'une attention particulière.

Cette base du savoir mécanique fonde l'unité de tout le propos, et légitime les frontières de la discipline. Elle permet aussi de comprendre l'articulation interne de chaque tome, qui se dessine souvent en fonction des cinq machines simples ou d'autres principes propres, avec parfois quelques ajouts concernant des énergies particulières utilisées. Pour mieux saisir cette unité dans l'organisation de chaque volume, prenons deux exemples : les machines à élever les eaux, et les machines à élever et transporter les charges.

Les machines à élever les eaux (TM3 et TM4) forment un corpus conséquent et ancien, avec sa propre tradition, et les instruments permettant l'élévation d'un fluide sont très divers et possèdent leurs spécificités. C'est pourquoi tout le troisième tome revient sur les contenants et les moyens instrumentaux d'élever les eaux : vases communicants, outils manuels (seau, pelles), norias, vis d'Archimède, chaînes de seaux, puits/treuil, pompes à chaînes de pistons, pompes aspirantes, pompes rotatives et pompes tenailles. Cependant, le quatrième tome revient sur une classification en fonction des machines

simples. En effet, après avoir rappelé brièvement dans les deux premiers chapitres quelques façons d'élever les eaux, Leupold décrit des machines utilisant pendules et leviers, balances (dont une large description de la machine de Marly), manivelles, plans inclinés, vis, roues dentées et semi-dentées, comme des moyens de transformer une force rotative continue (le moulin) en un mouvement linéaire alternatif (la pompe), ou parfois linéaire continu (chaînes de seaux, chaînes de pistons). Cette opposition entre le premier et le second volume du *Theatrum hydrolicarum* (machines à élever les eaux) est d'ailleurs pleinement assumée, puisqu'après avoir expliqué les trois choses à connaître pour réaliser une bonne machine à élever les eaux (contenants, mécanismes, énergies motrices), Leupold explique que « le premier tome de ce théâtre traite de la première chose [les contenants], et le second tome traite des deux dernières [mécanismes et énergies motrices] »¹⁸.

Les machines pour élever et transporter les lourdes charges (TM5), sont, pour Leupold, le cœur de la mécanique : les deux domaines d'application directe de la théorie. C'est pourquoi la partie sur les spécificités de ces machines ne prend-t-elle pas tout un tome comme pour les machines à élever les eaux, mais occupe simplement les premiers chapitres. Ceux ci reviennent d'abord sur les façons de transporter et de soulever manuellement (ou avec des animaux) des charges lourdes, puis sur les différentes machines simples, et enfin sur quelques remarques spécifiques au roulement et aux frottements qui y sont liés, partie théorique la plus spécifique de ce tome. Après cette introduction au domaine, nous retrouvons une classification du propos en fonction des « puissances mécaniques » : machines utilisant le levier, le treuil (horizontal), le treuil (vertical), le moufle (poulies), les roues dentées, la vis. Le tome finit sur quelques machines particulières pour élever les obélisques et quelques remarques sur les relations temps/espace.

Que ce soit sur plusieurs volumes ou dans un seul, la démarche de Leupold quant à l'organisation interne des domaines décrits est la même : les principes de base (statique)

¹⁸ TM3, préface. Texte original : „Es ist aber zu wissen, dass bei einer jeden Wasser-Machine drei besondere Stücke vorkommen : Zum Ersten, die Fassung des Wassers [...] Zum andern, etwas sein, damit solches bewege und über sich gebracht wird [...] Drittens die Krafft appliciret [...] Von dem ersten handelt mehrentheils dieser erste, und von den übrigen beiden der andere Theil dieses Theatri.“

et les énergies (mesure et moulins), sont traités en détail à part et rappelés brièvement au début de chaque théâtre ; suivis des parties instrumentales des machines et autres spécificités du domaine traité ; puis de la description de différentes machines, classées en fonction des puissances mécaniques utilisées. La statique, dont les principes sont décrits dans le premier tome a donc bien, pour Leupold, le rôle qu'ont les mathématiques pour Wolff : à la fois fondement théorique et guide d'une nomenclature interne.

Même en mettant de côté le sixième volume, revenant sur des principes généraux, ce mode de classification s'étiole quelque peu avec les ponts, domaine très spécifique et pour lequel Leupold copie explicitement l'œuvre de Gauthier¹⁹. Il est intéressant de noter à ce propos que les héritiers de Leupold abandonnent cette classification. Le huitième tome est consacré à la fabrication des instruments de mesure, sans rapport direct avec la statique. Le neuvième tome est consacré aux machines à moudre, mais les différents moulins sont classés en fonction des énergies utilisées et non des puissances mécaniques. Le dixième et dernier tome, outre le fait qu'il publie enfin l'index promis, apparaît quant à lui comme un fourre-tout dans lequel sont placées des descriptions d'instruments de mesure (distance, vitesse, altitude), de dessin (pantographes), d'arpentage, de topographie minière, de stéréotomie, et de machines diverses.

Au final, il ressort de cette analyse que Leupold, en empruntant le paradigme de monstration des théâtres de machines, vient formaliser la lecture que les allemands en avait faite, en plaçant systématiquement une théorie surplombante avant la description des différentes machines. Leupold marque ainsi l'aboutissement du passage de la topique renaissante à la théorie des machines, que cherchait à mettre en place les architectes allemands comme Zeising ou Böckler. Mais Leupold va plus loin encore que la formalisation sous la science mécanique de l'ensemble des types de machines : il fait de cette nouvelle théorie mécanique un paradigme descriptif, ou, pour le dire autrement, une technologie. Le fait de placer au début du tome cinq, un panorama des activités humaines permettant de soulever des poids est d'ailleurs symptomatique : l'auteur cherche à

¹⁹ Hubert GAUTHIER, *Traité des ponts*, op. cit. C'est dans la préface que Leupold explique son emprunt : „bis diese Stunde keine Schrift vorhanden [...] meistens bedienet, nemlich des Französischen *Tractats* so *Monsr. Henr. Gautier*, königl. Maj. In Franckreich bestalter Baumeister und *Inspecteur* der Wege, Brücken und Dämme des ganzen königreichs, unter dem Tittel : *Traite de Ponts*, zu Paris 1716, in gross 8vo herausgegeben.“

expliquer les gestes des métiers avec les principes de la mécanique, se situant dans une démarche dans laquelle Beckmann ou Dupin s'inscriront plus tard, en plaçant la science mécanique de son époque comme paradigme technologique.

Définir des référents et leurs parties

« Deuxièmement, pour cette raison [que le livre est destiné aux artistes en priorité], on n'a pas non plus lié solidement ces machines à une explication *mathématique*, mais comme ça vient le plus facilement, et comme on croit qu'il est plus facile à de telles personnes de comprendre. »²⁰

« Comme ça vient le plus facilement », cette affirmation est assez floue, et il est difficile de se faire une bonne idée du style que Leupold compte employer s'il n'utilise pas l'explication mathématique, science sur laquelle il appuie pourtant une grande partie de son propos. Au vu des différentes descriptions de machines qu'il donne, nous pouvons cependant faire ressortir quelques caractéristiques principales de son mode de rédaction. D'abord, cette affirmation est nuancée. Leupold propose plusieurs fois des calculs, mais ses explications sont toujours concrètes. C'est que nous sommes en mathématiques mixtes, et il s'agit non pas seulement de s'appuyer sur quelques résultats mathématiques, mais surtout de prendre pour modèles les traités et manuels de mathématiques, et notamment celui de Christian Wolff.

En premier lieu, il s'agit, conformément à une tradition qui remonte à Euclide, de poser les définitions des termes de base. C'est pourquoi le premier tome s'ouvre sur les définitions des mots de la mécanique : des plus généraux aux plus techniques, comme les différentes lignes de référence utilisées : ligne de repos, ligne perpendiculaire, etc.²¹. C'est aussi le cas dans les autres tomes. Il explique donc pourquoi le cinquième tome s'appelle *Theatrum Machinarium*, par des définitions :

« Ce livre porte le titre de *Theatri Machinarii* [...]. Bien que les savants appellent cette partie de la *mécanique Ars manganariorum* (de *Mangano*, un bout de bois, souvent sur les poulies), je préférerais utiliser un mot commun, qui ne devait pas être non plus trop utilisé, ainsi est suffisamment connu le mot *Machinarius*, qui désigne un artiste qui sait inventer et préciser des machines. Et puis ce travail est si important que la plupart, quand ils utilisent les mots mécanique ou machine,

²⁰ TM1, préface.

²¹ Pour des précisions sur le fondement théorique sur lequel s'appuie Leupold, voir *infra* « Chapitre 11 : Enseigner une théorie des machines », p. 386, et George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*

sans rien ajouter, les comprennent comme machines élévatoires, alors ce mot de *machinarium*, par son excellence, désigne cette partie de façon juste. »²²

Ces quelques phrases témoignent bien de la recherche de la "simplicité" voulue par l'auteur. Ainsi, bien qu'il mentionne le nom savant de la discipline et son étymologie, il lui préfère un autre terme, ni trop savant, ni trop utilisé, qui désigne cette discipline « de façon juste » ou « raisonnable » (« *billig* »). Il s'agit d'un compromis de définition, qui permet de circonscrire, ici dans le langage, un espace intermédiaire entre la science et la pratique, entre l'espace des érudits et celui des praticiens. Un langage que nous pourrions qualifier de technique, construit pour une classe intermédiaire, ou pour la communication entre les deux types d'acteurs.

L'objectif est simple, il s'agit de pouvoir mettre en place des référents communs aux deux classes. Cette méthode est reprise dans la description de chaque machine générique, qui est constituée d'éléments référents, et qui peut en devenir un elle-même, exactement comme une proposition mathématique découle d'axiomes prédéfinis et possède des corollaires. Ainsi, dans le premier tome, le début du « troisième *chapitre* sur les poulies ou les moufles »²³, condense en quelques phrases ce qui nécessite, pour d'autres éléments, plusieurs paragraphes. Il nous permet ainsi de saisir en un coup d'œil la façon, propre à Leupold, de rédiger des définitions :

« §59. Cet engin de levage est appelé poulie [de « *Scheibe* », disque] ou moufle [de « *Flasche* », bouteille²⁴], parce qu'il est composé d'un disque, ou rouleau, sur lequel va une corde, et d'un moufle [ou bouteille pour un allemand], c'est-à-dire une boîte, dans laquelle se meut le disque, bien tenu dans le moufle [la bouteille] par l'intermédiaire de son essieu. Les morceaux de la poulie sont : 1. Le disque. 2. Le moufle [bouteille]. 3. L'essieu ou cheville. 4. La suspension, et les crochets ou anneaux²⁵. 5. La corde. *Planche VIII. Figure X.* est E le disque. A le moufle

²² TM5, préface. Texte original : „Es führet dieses Buch den Titel eines *Theatri Machinarii*. [...]; denn obschon solches Theil der *Mechanic* bei denen Gelhrten "*Ars maganariorum*" heiset, (von "*Mangano*", einem Stück holz, so beim Flaschenzug üblich,) so habe mich dennoch lieber eines gebräuchlichern Wortes bedienen wollen; solte auch dieses nicht so sehr in Uebung sein, so ist dennoch das Wort *Machinarium*, welches einen Künstler bedeutet, der allerlei Maschinen zuerfinden und anzugeben weiss, genugsam bekannt. Und da auch dieses Werk so wichtig ist, dass die meisten, wenn sie die Worte *Mechanic* oder *Machine*, ohne andern Zusatz oder *Epitheton* gebrauchen, es blos von Hebzeuge verstehen; dass also das Wort *Machinarium* diesem Theile, wegen dessen Vortrefflichkeit, billig zukommt.“

²³ TM1, chapitre 3. Texte original : „Das III *Capitel*. Von Scheiben- oder Flaschen-Zügen“. Littéralement, dispositif de traction (*Zug*) en disque (*Scheiben*) ou en bouteille (*Flaschen*). Aujourd'hui, c'est l'appellation *Flaschenzug* qui domine largement.

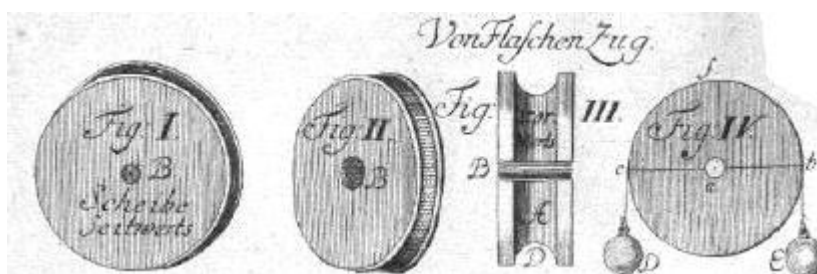
²⁴ Le nom de "bouteille" (*Flaschen*), comme l'explique ici Leupold, se réfère au crochet en forme de bouteille (ou de moufle pour un français), dans lequel se loge la roue à gorge sur laquelle repose la corde (le mot français moufle peut tout autant désigner un ensemble de poulies liées ensemble, mais nous préférons ici user du mot « palan »).

²⁵ Il s'agit d'une part du crochet auquel est suspendue la poulie et d'autre part du crochet auquel peut éventuellement être accrochée la corde dans le cas de la constitution d'un moufle (ou palan).

[bouteille]. K l'essieu. B. la suspension ou anneau. C. le crochet. *Figure V* : A. le disque. B. le moufle [bouteille]. H. le crochet.

Les matériaux des poulies peuvent être : bois, fer et laiton ; l'essieu doit toujours être en fer ; les disques sont au mieux en laiton, tout comme le moufle [bouteille], bien que beaucoup ne sont faits que de bois ; les anneaux et crochets doivent aussi être en fer, quoique certains se contentent de percer des trous dans les moufles [bouteilles] en bois et d'y passer une corde. »²⁶

Cette recherche de simplicité dans la définition se retrouve donc au sein de chaque chapitre. Qu'il s'agisse, comme ici, de la définition d'une machine simple, ou, comme dans le reste de la collection, d'instruments et de machines plus complexes, Leupold commence toujours par une description générale de l'objet ou du mécanisme qu'il cherche à décrire. Celle-ci suit presque toujours ce modèle, partant du nom, décomposant l'objet en plusieurs parties dont il précise finalement les matériaux possibles. La mention des matériaux, y compris pour le levier dans le premier chapitre, est très importante. Elle permet de comprendre que Leupold ne décrit pas des machines abstraites, mais au contraire ancrées dans une réalité matérielle. Il s'agit pour lui de créer en quelques mots un référent, tel qu'il puisse utiliser les termes à sa guise par la suite, notamment lorsqu'il est amené à décrire des combinaisons mécaniques plus complexes. Ainsi la poulie devient un référent mécanique directement mobilisable, dont la matérialité est bien comprise, et dont les propriétés mathématiques sont ensuite détaillées.



²⁶ TM1, chapitre 3, §59. Texte original : „Dieser Heb-Zeug wird der Scheiben- oder Flaschen-Sug genennet, weil er aus Scheiben oder Rollen, darüber die Seile gehen, und aus Flaschen, das ist ein Gehäuse, darinnen die Scheiben um ihren Nagel, der in den Flasche feste ist, umlauffen, bestehet. Die Stücke des Flaschen-Zugs sind : 1. Die Scheibe. 2. Die Flasche. 3. Der Nagel oder Polzen. 4. Das Gehänge, hacken oder Ring. 5. Das Seil. Tab. VIII. Fig. X ist E die Scheibe. A die Flasche. K der Polzen. B das Gehänge oder Rincken. C der Hacken. Fig. V. A die Scheibe. B. die Flasche. H der Hacken. / Die Materie des Flaschen-Zugs kan sein : Holz, Eisen und Messing; der Polzen muss allezeit von Eisen sein; die Scheiben sind am besten von Messing, wie auch die Flaschen, obschon viele nur von Holz gemacht werden; die Rincken und Hacken müssen auch eisern sein, wiewohl manche bei den hölzernen nur Löcher durch die Flasche bohren, und ein Seil durchziehen.“

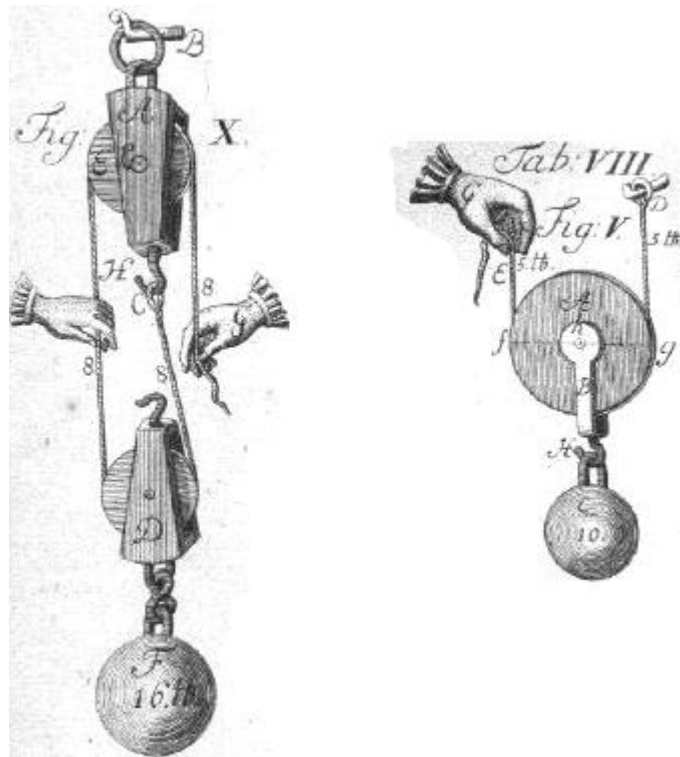


Figure 38 : Extrait de la planche 8 de J. Leupold, *Theatrum machinarum generale* (Leipzig, 1724), sur la poulie.

Le défi du langage

Une fois le référent correctement défini, il faut pouvoir le désigner d'une façon claire et univoque. C'est là un défi auquel est confronté tout discours technologique. De par sa position surplombante, ce type de discours cherche en effet à trouver les moyens d'unir en des explications cohérentes, un ensemble d'arts pratiqués par différents métiers dans différentes régions, et qui ont chacun et chacune leurs propres langues. Une attention toute particulière à la langue et aux mots employés est donc nécessaire.

Cette attention à la langue est, nous l'avons vu, un trait commun de Leupold et de Wolff. Dans sa préface, l'auteur des *Theatri* explicite cependant son ambition à ce sujet plus clairement que dans les ouvrages du philosophe, et explique le choix similaire qu'il fait d'utiliser les termes latins, pour désigner les choses techniques :

- « 1) Parce que de tels mots de l'art sont déjà si connus que chaque artiste et ouvrier, qui use de ces mêmes choses, en connaît la plupart, et qu'une appellation allemande inhabituelle ne ferait qu'ajouter à la confusion, comme cela se passe souvent. Et
- 2) parce que de telles personnes souhaitant et devant lire d'autre écrits de ce

type, qui utilisent les termes latins, il leur sera plus facile de les comprendre ainsi.
Et

3) parce que les mathématiciens, érudits et autres amateurs des arts discourent aussi ainsi, ils ne seront pas compris aussi facilement par les artistes et les ouvriers.

On a cependant donné la majeure partie du temps le mot allemand ou une explication, par souci d'une meilleure clarté, ainsi seront-ils connus aussi, et ne seront pas oubliés trop facilement, et on utilise souvent pour cette raison plus d'une appellation, glissant avec diligence des tautologies. »²⁷

Nous voyons ici que le latin est employé à la fois pour son universalité et sa clarté. Il ne sert pas ici à créer une langue des arts comme Diderot l'appelle plus tard de ses vœux²⁸, mais plus modestement à mettre en place un vocabulaire commun au penseur et au travailleur pour permettre leur co-activité. Leupold ne cherche pas ici à remplacer un vocabulaire vernaculaire par un lexique savant, il essaie simplement de clarifier les termes, et de construire un moyen pour que deux classes de personnes, aux langages différents, se comprennent. Le latin constitue dans ce cadre le référent lexical idéal, car il est déjà pratiqué par les savants et permet de définir un sens univoque, détaché des variations régionales. Le latin, par cette propriété, peut devenir le synonyme nécessaire aux mots qui désignent les outils et concepts des ouvriers « qui n'ont pas de langue ni d'autre études »²⁹. Entendons-nous bien, il ne s'agit pas d'un latin à destination uniquement pédagogique, visant à clarifier les mots pour les clarifier, mais bien d'un moyen d'améliorer sinon la coopération entre savants et praticiens, au moins la communication entre des érudits et des ouvriers :

« Il y a presque pour chaque art une langue et des expressions correspondantes, parmi lesquelles on compte principalement la langue de la mine [...] il est très utile et très avantageux de connaître les mots de l'art de chaque métier, car sinon on ne peut parler avec de telles personnes, ni bien les comprendre, ni eux bien nous comprendre. Jusqu'à peu, c'était une chose très difficile, mais de nos jours, il est

²⁷ TM1, préface. Texte original : „1) Weil solche Kunst-Wörter schon so weit üblich sind, dass ein jeder Künsiler und Handwercker, der mit dergleichen sachen umgehet, solche meist versteht, und durch ungewöhnliche teutsche Benennung nur *confus* werden würde, wie solches vielfältig *passiret*. Und, 2) Da solche Leuthe auch andere dergleichen Schrifften lesen wollen und sollen, die der lateinischen *Terminorum* sich bedienen, wird es ihnen desto leichter senn solche zu versiehn. Und 3) Da *Mathematici*, Gelehrte und andere Kunst-Verständige auch also reden, würden sie von Künstlern oder handwercks-leuthen nicht so leichte verstanden werden. Man hat aber um besserer Deutlichkeit willen meist allezeit das teutsche Wort oder Erklärung mit bengesetzt, dadurch beides bekannt, und nicht so leichte vergessen wird, auch vielfältig sich mehr al seiner Benennung aus eben dieser Ursachen bedienet, und also mit Fleiss *Tautologien* einfließen lassen.“

²⁸ Diderot, dans son article art, appelle à créer une langue des arts qui donnerait un nom particulier à chaque chose et supprimerait les synonymes d'un art à l'autre, et d'une langue qui permettrait de définir les grandeurs spatiales et temporelles sur une base commune.

²⁹ TM1, préface. Texte original : „man hat vielmehr sein Absehen gerichtet auf künstler, handwercker, und dergleichen Leuthe, die keine Sprachen noch andere Studia besitzen“

facile de le faire grâce aux lexiques [il en cite plusieurs et les recommande]
Les mêmes mots de l'art, qui se trouvent dans ce livre, et qui sont expliqués grâce
à une figure, devraient être rajoutés dans un index à part, de telle façon que ce
livre puisse aussi servir de lexique de mécanique. »³⁰

Le latin et, nous en avons ici confirmation, les figures, permettent d'être des référents, supports de définitions univoques et claires, qui permettent à chacun de connaître les différentes façons de désigner un objet. Le nombre de "ou", parsemant toute l'œuvre de Leupold en lui permettant d'introduire des variantes, suffirait à lui seul à montrer l'importance pour Leupold de multiplier les équivalents, afin d'être compris par tous, et que tous acceptent le terme employé. Il n'y a pas imposition d'un nouveau langage, mais mise en parallèle constante de langages connus et d'une langue technique et univoque, en train de se construire en allemand, mais avec l'aide du latin.

Les premiers paragraphes définissant le treuil permettent de bien comprendre la démarche du saxon. En effet, Leupold définit le treuil comme « un levier sans fin ou levier fermé », qui fonctionne tant que s'enroule la corde ou la chaîne³¹. Cela nécessite d'avoir bien gardé en tête le référent "levier". Sa méthode permet de définir un objet complexe de façon relativement simple, en faisant appel à des référents communs qu'il a lui-même mis en place. Par la suite, Leupold nomme différents types de treuils, en fonction de leur mode de préhension (manivelle, croix, roue, etc.), qui font chacun référence à une figure différente. Enfin il décrit les différentes parties d'un treuil : le bras, par lequel on tourne le treuil ; l'axe (ou arbre) autour duquel s'enroule la corde, et « les essieux » (« *Zapffen* ») sur lesquels l'axe repose. L'axe, « *Welle* » en allemand, est un terme commun à de nombreuses machines et il a une valeur technique importante parce qu'il fait parti de ces mots qui permettent au langage de créer des ponts entre des machines très diverses et donc de faire de la mécanique un art sinon surplombant, du moins central. À partir de ce référent, Leupold peut donc préciser, notamment à ceux qui devraient être mieux formés

³⁰ TM1, §10. Texte original : (1) Es hat fast eine jede Kunst hierinnen ihre besondere Sprache und Redens-Arth, wozu hauptsächlich die Berg-Sprache zu zehlen [...] Inzwischen ists eine nöthige und sehr nützliche Sache bei jeder *Profession*, solche Kunst-Wörter zu wissen, weil man sonst mit solchen Leuten nicht reden, noch wir sie, noch sie uns, recht verstehen können. Vor einigen Jahren war dieses eine gar schwere Sache, heut zu Tage aber ists durch die so genannten *Lexica* shr leichte gemacht worden [...] (2) Diejenigen Kunst-Wörter, so in diesem Buche voffallen, und durch eine *Figur* zu erklären sind, sollen unten durch ein *a partes* Register angehangen werden; dass also dieses Buch auch als ein *Lexicon Mechanicum* dienen kann.“

³¹ TM1, chapitre 4, §66. Texte original : „Nach dem Hebel und Flaschen-Zug ist das einfältiges Heb-Zeug der Haspel, selbiger aber ist ein Hebel ohne Ende, oder ein geschlossener Hebel, das ist, ein Hebel, der so lange als die Seile oder Kette, daran die Last feste gemachet ist, zulanget, kan fortgetrieben werden.“

aux arts des mines, que cette partie est appelée « arbre rond » (« *Rondbaum* ») chez les mineurs. Il s'agit donc bien non seulement de nommer d'un même terme une même chose, mais aussi de permettre à chacun de connaître les mots de l'autre.

Leupold appelle donc les savants à s'intéresser aux mots de l'art, les encourage à discuter avec les différents métiers, et même si ses livres ne leur sont pas destinés, il émaille son propos de références à des mots venus d'autres régions, ou plus souvent, de l'art de la mine. En retour, cependant, il cherche aussi à permettre à ces métiers l'accès à des définitions claires et concises des termes savants, et notamment des termes de base de la statique. Ainsi, définit-il, dessine-t-il et donne-t-il l'équivalent latin des cinq machines simples (« *Potentia* ») et des principales valeurs de référence, comme temps et espace, ligne de repos ou d'équilibre, ligne horizontale (perpendiculaire à un fil à plomb) ou verticale (trajectoire d'un poids tombant librement). Cette multiplication des références visuelles, latines, vernaculaires, devraient permettre de bien faire comprendre tous les termes utilisés, à travers un même système de référence. Ainsi en est-il aussi des parties du treuil. L'appellation de "bras" fait en effet directement référence au bras du levier, alors même que ce "bras", dans le cas du treuil, peut prendre la forme d'une roue ou d'une manivelle. Les essieux quant à eux, désignent cette partie qui dépasse de l'arbre central et qui permet de poser le treuil sur son bâti. Il est important pour Leupold de les distinguer de l'axe, car il calcule plus loin le rapport optimum entre le diamètre des essieux et celui de l'axe. Utiliser le mot d'essieu qu'il réemploie à de multiples endroits pour désigner des objets similaires dans la forme mais parfois très différents dans l'usage, c'est, là encore, travailler à créer un système de références communes plutôt que de travailler à créer une langue. Il s'agit de faire tous les ponts entre les langues existantes, tout en s'appuyant sur des définitions qui, elles, sont communes.

Ce système, puissant à bien des égards, a parfois ses limites quand il s'agit de donner les définitions exactes des concepts de la mécanique. Le choix du mot est en effet toujours un compromis, qui reflète le rejet du latin savant, tout en permettant aux nouveaux mécaniciens auxquels Leupold s'adresse, ou qu'il cherche à former, de retenir ce qui peut être à la fois un concept et une chose très concrète. Un compromis dont souffre parfois le sens de certains mots. Un très bon exemple nous est donné avec l'utilisation du mot "*Krafft*", dont la traduction littérale serait "énergie". Dans le discours de

Leupold, "*Krafft*" est le contraire de "*Last*", le poids. Le contrepoids, « *Gegen-gewicht* » en allemand, n'est qu'une énergie parmi d'autres permettant de soulever un poids : « énergie (laquelle on peut aussi appeler contrepoids ici) »³². Il faut en fait penser ces mots dans le cadre de la théorie statique. Celle-ci vise toujours à calculer, pour une machine réduite à un ou plusieurs leviers, l'énergie nécessaire (exprimée comme une masse en livres et quintaux ; nous dirions la force nécessaire) afin de maintenir un poids en équilibre à l'autre bout de la machine. Généralement, il suffit pour l'auteur d'ajouter un peu à ce poids (c'est-à-dire de fournir un peu plus d'énergie que nécessaire pour maintenir le système en équilibre) pour mettre en mouvement la machine.

Ces mots-là sont utilisés directement en allemand et sans traduction latine, ce qui entraîne, ou témoigne, d'un flottement permanent de leur sens. Il en va ainsi non seulement de « *Krafft* » (énergie, force, notamment motrice), mais surtout de « *Stärke* » (force, voire résistance dans certains contextes), de « *Macht* » (puissance) ou encore de « *Vermögen* » (pouvoir, puissance, effet, capacité). Il faut dire, pour la défense de Leupold, que ces concepts de physique n'ont toujours pas fait l'objet de définitions stables chez les savants de cette période, d'ailleurs en plein dans la querelle des forces vives. À cette époque, en effet, la physique nouvelle offre à la mécanique davantage un modèle méthodologique (mathématique et expérimentation) que de véritables avancées scientifiques et théoriques applicables.

Le rôle de l'image

Un autre outil utilisé par Leupold pour garantir l'univocité de son référent, est l'utilisation d'une image. C'est le cas dès les premières lignes décrivant la poulie (voir p. 362), dans lesquelles Leupold renvoie le lecteur à une planche en fin de volume. La figure V, comme la figure X de la huitième planche n'ont pourtant pas été expressément réalisées pour permettre la description d'une poulie simple, mais décrivent des figures qui sont utilisées plus loin pour d'autres explications. Leupold fait donc référence là encore à des choses qui existent ou qui pourraient exister, afin de bien asseoir le référent matériel dans l'esprit du lecteur, en sus, le plus souvent d'un référent plus abstrait.

³² Ici, c'est à dire dans le chapitre sur les leviers. TM1, chapitre 2, §23 texte original : „Krafft (welches man auch hier das Gegen-Gewicht nennen kan)“.

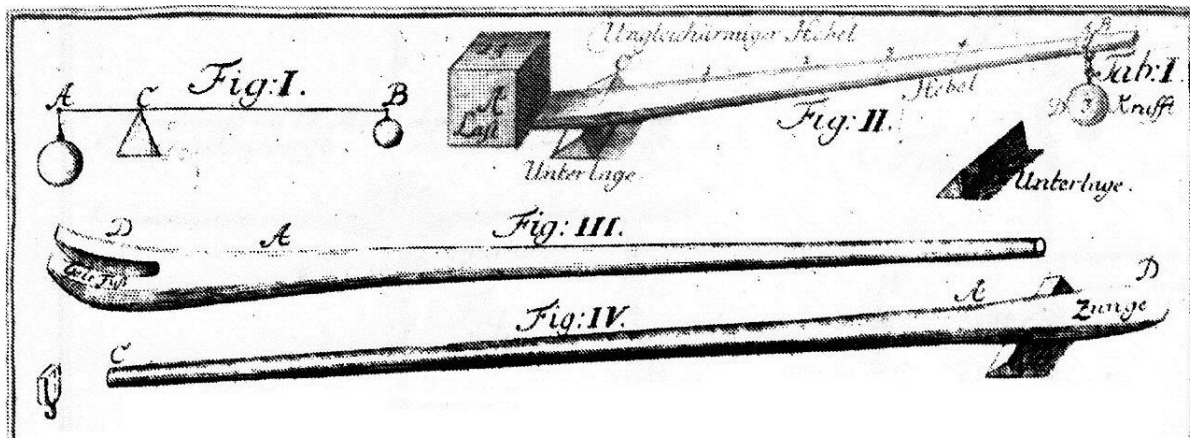


Figure 39 : Extrait de la planche I de Jacob Leupold, *Theatrum Machinarum Generale*, Leipzig, 1724

L'exemple le plus frappant, outre les poulies, est sans doute celui du levier, parce qu'il est un principe célèbre et que nous pourrions penser qu'il ne nécessite pas de référent matériel, tant son usage est connu. Nous voyons pourtant bien sur l'illustration ci-dessus qu'il ne s'agit pas que d'un levier abstrait : à côté de la représentation schématique du levier (fig. 1) avec un trait, un point fixe (triangle), un poids (rond A) et son contrepoids (rond B), est dessiné un levier "réel" en fonctionnement (fig. 2), et plus bas (fig. 3 et 4), deux autres leviers simples, avec d'une part deux sortes de bras de levier, d'autre part une cale (« *Unterlage* ») et un crochet, permettant d'accrocher le contrepoids (en bas à gauche de l'image). Leupold dessine donc toutes les parties de l'instrument qu'il décrit, ce qu'il fait pour de nombreuses autres machines, surtout les plus simples, qui peuvent de servir de base à d'autres. Le référent doit donc aussi rendre compte correctement des pièces nécessaires à la composition d'une machine.

Autant que possible, dans le texte, comme dans les images, Leupold cherche donc à rendre compte des deux dimensions, abstraite et matérielle, des objets qu'il présente. La matérialité est cependant temporairement limitée dans le premier tome, afin que le référent que cherche à construire Leupold conserve bien toute sa puissance explicative :

Quatrièmement, ce n'est pas une méprise de voir qu'on ne remarque aucune échelle sur de nombreuses *machines*, ni sur la planche, ni dans le texte, parce que la plupart des choses ne doivent servir qu'à l'explication et non pas à l'*imitation*, ou ce sont des *machines* qui souffrent constamment du changement à cause des *matériaux*, du temps, du lieu, de l'énergie, du poids ou d'autres circonstances, et c'est assez quand les rapports *mécaniques* sont justement exprimés.

Cinquièmement, que les différentes *machines* ne sont pas entièrement dessinées avec leurs accessoires, *cadres* (en français dans le texte) et bâtis et d'autres parties très utiles, on le voit en cela, qu'on veut indiquer juste quelques rapports, dont la description complète ne sera pas exposée entièrement avant une autre partie des *Theatri*.³³

Il est intéressant de bien noter que Leupold vise explicitement à ne pas favoriser une construction à l'identique des machines ou des machines simples. L'échelle est donc volontairement bannie des images, qui ne présentent que des rapports. L'objectif est clair : c'est la proportion et les rapports mécaniques qui comptent, car ils se comptent et se calculent. Il s'agit d'apprendre à positionner sur des machines réelles, des référents, à la fois visuels et langagiers, plus ou moins abstraits, mais dont la force réside dans la capacité explicative et calculatoire.

Leupold complète cette remarque avec l'idée que ses illustrations se focalisent sur ce qui est intéressant dans les machines, sur ce qui en constitue le cœur. Et c'est en effet le cas le plus souvent. Cependant, la complémentarité théorie/pratique, abstrait/matériel, impose à Leupold de ne pas faire une règle pour toute son œuvre de ce cinquième point : pour apprendre au lecteur à transformer une machine réelle en un schéma mental, possible à calculer, l'auteur doit réussir à rendre compte à la fois des détails, de la matérialité et du contexte des machines employées, en même temps que leur traduction sous forme de principe. L'usage de figurations schématiques voire abstraites ne se suffit pas à lui-même, il doit faire référence à des choses concrètes, d'autant plus que Leupold ne cesse, dans tous ses volumes, de modérer les résultats de ses calculs par la référence à la matérialité des machines. Ainsi, dès le troisième tome, le premier à décrire ouvertement des machines plus qu'il ne propose une théorie, Leupold met en évidence dans sa préface l'usage de la perspective et de la représentation du « cadre » de la machine.

³³ TM1, préface. Texte original : „Zum vierdten, ist es nicht als ein Versehen zu achten, dass bei vielen *Machinen* kein Maasstad weder auf dem Riss noch schriftlich bemerket, weil es meist Exempel die nur zur Erklärung, nicht aber zur *Imitation* dienen sollen, oder es sind *Machinen* die wegen *Materialen*, Zeit, Orth, Krafft, Last, oder andern Umständen, stetige Veränderung leiden, und es genug ist, wenn die *mechanischen* Verhältnisse nur *exprimiret* sind. / Zum fünfften, dass unterschiedliche *Machinen* nicht völlig mit ihren Zugehör, Gehäusen, *Stellagen*, auch wohl nöthigern Stücken, ausgeführet sind, ist geschehen bei denjenigen, da man nur einige Verhältnisse anzeigen wollen, die völlige Beschreibung aber bis zu einem andern Theil des *Theatri* ausgesetzt bleibet.“

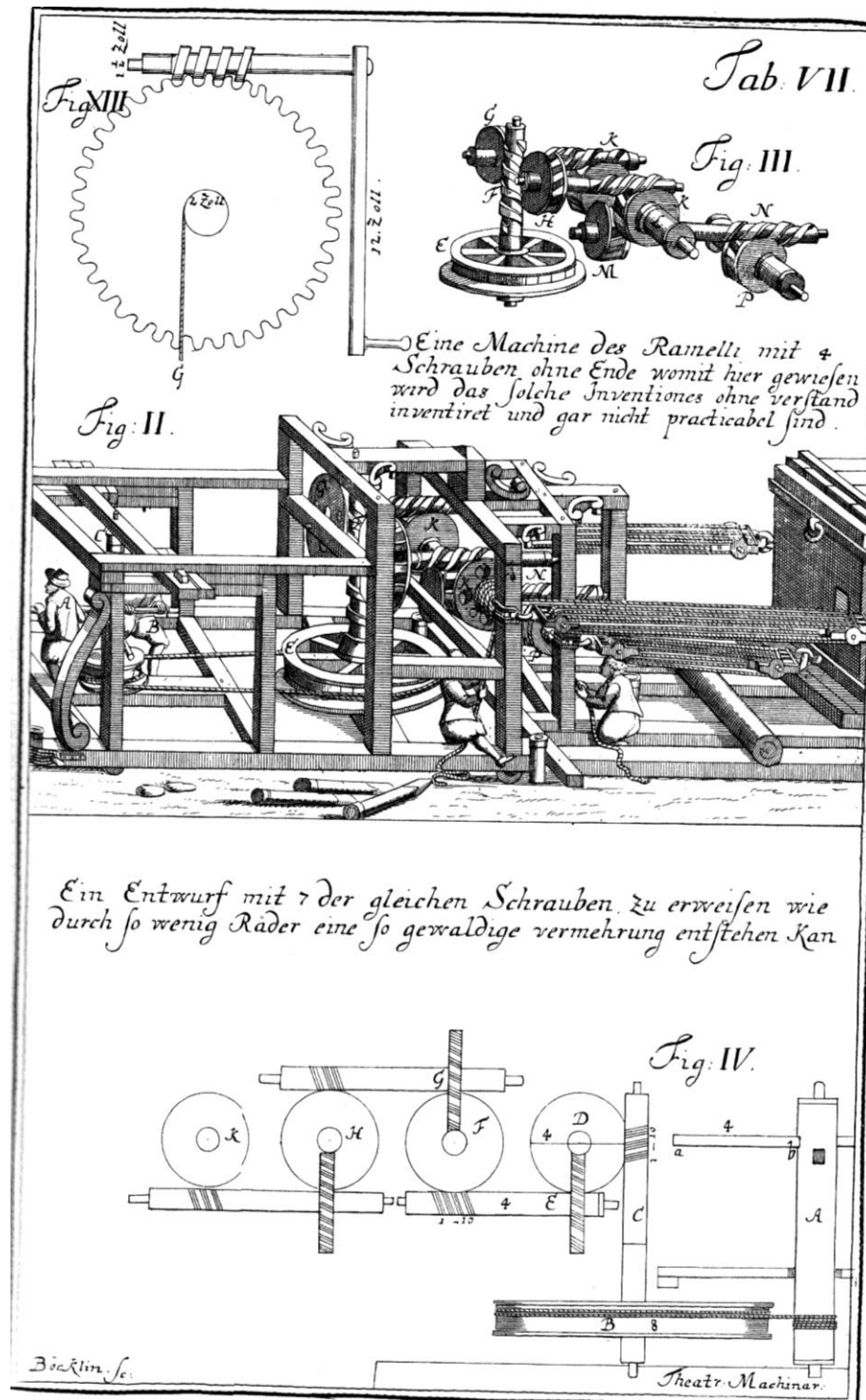


Figure 40 : Planche VII de J. Leupold, *Theatrum Machinarium* (TM5, Leipzig, 1725)³⁴

³⁴ Le texte allemand sur l'image dit, en haut : « Une machine du Ramelli avec 4 vis sans fin avec lesquelles cette invention-là fut inventée sans compréhension et qui ne sont guère praticables (ou pratique, le mot est emprunté au

La perspective demeure en effet largement utilisée, et pour une raison simple : le graphisme technique, ou plutôt les modes de figuration des objets techniques ont, dans les différents traités de cette époque moderne, deux fonctions : rendre compte, témoigner de l'existence d'une machine d'un côté ; expliquer son fonctionnement de l'autre, mais très rarement de reproduire une machine³⁵. Or la perspective est la méthode³⁶ de figuration qui permet le mieux de rendre présente une machine, de la montrer, pour en asseoir l'existence. Leupold n'échappe pas à la règle, et, tout comme il cherche à expliquer les rapports mécaniques, il cherche toujours à rendre compte en détail des expériences qu'il réalise, et plus généralement, des machines qu'il décrit³⁷. Les deux représentations, abstraite et matérielle, sont complémentaires et aucune ne devrait exister sans l'autre. Détails, matérialité et contexte permettent de témoigner de l'existence réelle, ou du moins potentiellement réelle, des machines et de leur situation d'usage. Il faut à la fois former le lecteur à un graphisme technique nécessaire à sa tâche, et aussi lui permettre de relier cela à des machines. Le tout, à l'aide des textes descriptifs et explicatifs, permettant de créer un référent matériel complet. La septième planche du cinquième tome (Figure 40 : ci-dessus) témoigne de ce mouvement avec la plus grande clarté.

Dans cette illustration, nous avons quatre figures. La première, indiquée « Fig. XVIII » en haut à gauche, appartient à l'explication des manivelles à vis-sans-fin qui font l'objet de la planche précédente. La seconde figure reprend la 183^e machine des *Diverse et artificiose machine* de Ramelli³⁸ avec une disposition similaire des personnages mais sans le décor. La troisième figure (en haut à droite) n'est que l'éclaté du principe de la première figure. C'est un éclaté qui se trouve aussi sur la planche du Ramelli. La

français ou au latin avec une terminaison allemande, le sens est donc flou). ». Celui du bas : « Une esquisse avec 7 des mêmes vis, pour prouver comment peut survenir une si vaste multiplication, à l'aide de si peu de roues. »

³⁵ Marcus Popplow distingue quatre fonctions des images techniques à l'époque moderne : la conservation du savoir en vue de présentation à un large public, l'usage des dessins dans la réalisation concrète d'un projet, la conservation d'archives personnelles à l'ingénieur, l'usage des dessins comme support de réflexions théoriques. Ici, seules la première et la dernière fonction sont utilisées par Leupold, comme dans les anciens théâtres de machines.

³⁶ Étant donné ce que la perspective représente de considérations théoriques, nous préférons le terme de "méthode" à celui de "mode".

³⁷ TM3, préface : „Hätte man bei diesen allen die nöthigen *Stellagen* machen und in *Perspectiv* bringen wollen, würde in die 5 bis 6 Platten alleine betragen haben (dadoch eine solche Stellage ein jeder Zimmermann und Müller anzugeben weiss) also ist es auch bei vielen übrigen.“

³⁸ Leupold fait aussi référence à la version qu'en donne Heinrich Zeising. Or celui-ci copie plusieurs treuils semblables issus du Ramelli, mais aucun ne correspond à celui-là.

quatrième figure, contrairement, à ce qu'une lecture trop rapide pourrait laisser penser, n'est pas un schéma issu de la machine de Ramelli, mais la présentation d'une autre machine, inventée par Leupold, mais obéissant au même principe.

Principale évolution depuis les autres théâtres de machines : la page n'est plus exclusivement dédiée à une machine. C'est en effet l'usage le plus répandu dans l'œuvre de Leupold, et, de façon plus générale dans la littérature technique du XVIII^e siècle³⁹. Sauf à de rares exceptions, tout l'espace de la feuille est utilisé. Cela témoigne de la volonté de présenter les machines avec un caractère moins contextualisé, et Leupold, recopiant exactement la machine et son usage, abandonne la représentation du château et du sol accidenté en arrière-plan, même si le texte précise que cette machine n'est présentée au lecteur que pour sa « curiosité ». Corollaire de cette utilisation de la page, l'éclaté est bien distingué du reste de la machine, et facilite la lecture et le calcul. Concernant, la machine de Ramelli, Leupold se réfère d'abord à la machine mise en scène en perspective pour la décrire selon le chemin cinématique. Puis, il fait référence à l'éclaté, à partir duquel il commence un calcul qui lui permet d'affirmer que la machine de Ramelli devrait permettre à deux hommes développant ensemble une force d'un quintal (50kg) de soulever un poids de 15 360 000 quintaux (soit 789 504 tonnes)⁴⁰. Seulement, en estimant que les deux hommes font 150 pieds par minutes⁴¹, il montre qu'il leur faudra 71 jours pour soulever ce poids d'un pied (30cm environ). Suite à ce calcul se rapportant à l'éclaté, il propose, dans son texte de faire un « *exercitii gratia* » et propose un dernier exemple, qui correspond au schéma en bas de la page. La machine, inventée par Leupold pour l'exercice, est similaire à celle de Ramelli, mais avec plus encore de vis sans fin (sept au lieu de quatre chez Ramelli).

³⁹ Pour plus de détails, voir Bernard QUERE, *La communication scientifique et technique par les outils graphiques, de 1750 à 1850, dans le contexte de la Bretagne*, thèse sous la direction de Jean Dhombres, EHESS, Paris, 2005.

⁴⁰ Pour ces calculs, nous utilisons les mesures données dans George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. viii. Elles se fondent sur Horace DOURSTHER, *Dictionnaire universel des poids et mesures anciens et modernes contenant des tables des monnaies de tous les pays*, Bruxelles, Hayez, 1840. Selon lui, un quintal (Zenter) vaut 110 livres (Pfund) dans le commerce, et une livre de Leipzig vaut 467,54 grammes ou 0,000467 tonnes. Un quintal de commerce à Leipzig vaut donc environ 0,0514 tonnes. Ainsi $15\,360\,000 \times 0,0514 = 789\,504$ tonnes, ce qui est un chiffre vertigineux. À titre comparatif, l'obélisque du Latran, érigé par Fontana en 1587 pèse 350 tonnes.

⁴¹ Leupold ne précise ni le diamètre ni le périmètre du treuil initial, il donc impossible de savoir exactement à combien de tours par minutes cela correspond. Cependant, si nous estimons que le treuil a un diamètre de 3 pieds (environ 90cm), et donc un périmètre d'environ 9 pieds ($3 \times \pi$), alors 150 pieds/minutes correspondent environ à 16 tours/minutes.

Notons toutefois sur cette dernière machine que Leupold ne la décrit pas textuellement, il s'appuie désormais sur le référent créé antérieurement, avec perspective et description. L'objectif est ici de s'exercer au calcul, de décliner une autre façon possible d'utiliser un mécanisme décrit par ailleurs. Or, ce qui nous intéresse ici, c'est que Leupold utilise une vue orthogonale schématisée, c'est-à-dire sans représentation du cadre, et un ombrage limité à la grande roue motrice. Il en ressort une impression de clarté pour nos yeux aujourd'hui habitués à ce qui se rapproche d'un *blueprint* contemporain. Ne nous y trompons cependant pas. S'il ne s'agit pas exactement de la même machine, Leupold ne peut utiliser ce mode de représentation que parce qu'il s'appuie sur les deux autres représentations d'une machine similaire. Cela lui permet d'habituer le lecteur germanique à un mode de représentation dont il n'est pas encore, en 1724, familier⁴². Autrement dit, l'auteur profite d'avoir posé un référent visuel et textuel pour proposer une nouvelle machine, dont la description et la compréhension globale très rapide lui permet de passer plus vite au calcul, et donc de le développer. Dans le cas présent, l'objectif est d'adjoindre, à un premier calcul sur la capacité de la machine, un second calcul sur le temps passé pour faire parcourir telle ou telle distance à une charge de cette importance ; calcul qui suffit à Leupold, comme à Salomon de Caus avant lui, pour condamner cette machine, d'autant plus inutile selon lui, que ne sont pas pris en compte les aspects matériels.

Ainsi, nous observons, par rapport à la période précédente, une certaine spécialisation des modes de figurations. Là où une image concentrait toutes les fonctions, testimoniales (rendre compte de la machine dans sa matérialité) et explicatives, Leupold place sur une même planche plusieurs représentations n'ayant chacune qu'une seule fonction. Et, quand il s'agit d'une même machine, il harmonise les « *Signaturen* », comme il appelle les lettres de références, sur les différentes représentations. Outre le fait que cela répond sans doute aux canons figuratifs de la période, cela a aussi l'avantage de faciliter les allers-retours avec le texte explicatif. Chaque type de texte peut correspondre à un type d'image : descriptif pour la perspective, analytique pour l'éclaté et purement calculatoire (exercice) pour le schéma. Cette meilleure correspondance entre l'image et le

⁴² Selon Marcus Popplow, au XVIII^e siècle, la France est à la pointe des représentations « rationnelles » des objets techniques, et le transfert vers le monde germanique se fait justement au début du XVIII^e siècle : Marcus POPLOW, *L'emploi du dessin parmi les ingénieurs du 16^e au 18^e siècle (intervention podcastée)*, http://epi.univ-paris1.fr/1174662770083/0/fiche_actualite/&RH=epi-030-ST.

texte, contrastant avec l'importance si grande que prenait l'image dans les théâtres antérieurs, permet ici d'améliorer le référencement des objets et des parties, et donc de clarifier fonctionnement et utilité de la machine. Une clarté et une simplicité qui répond à celles que souhaitait mettre en place Leupold dans ses textes explicatifs.

Exercer le lecteur

Il faut, à ce stade, distinguer l'écriture du premier tome de celle des suivants. Dans le *Theatrum Machinarum Generale*, il s'agit de familiariser le lecteur avec la *statique* sur laquelle nous reviendrons. Pour ce faire, après avoir défini les objets référents de base et avoir donné leur utilité, Leupold cherche à donner au lecteur les outils nécessaires pour calculer l'effet des machines simples ou des moteurs présentés. Pour cela, il lui arrive souvent de proposer des expériences ou de réaliser des outils de mesure, dont nous verrons la portée plus loin. Plus intéressant dans cette étude de la pédagogie des *Theatri* est sa façon de proposer des outils efficaces pour la création des mécanismes, d'exercer le lecteur au calcul de ces machines par des exercices, et de lui permettre de bien retenir les bases de la *statique* par une répétition des informations.

Quelques « maximes »

Bien que nous y reviendrons en détail dans les deux chapitres suivants, il faut mentionner ici une des formes les plus répandues d'énoncés des *Theatri*, et que je qualifierai, à la suite de Bélidor de « maximes ». Dans la préface de son *Architecture Hydraulique* (édition de 1782), celui-ci, après avoir expliqué sa méthode de démonstration des principes généraux à l'aide d'un algèbre que tous ne comprennent pas, précise :

« Cependant, mon dessein ayant été de faire en sorte que cet Ouvrage devint utile à tous ceux qui le lisoient, j'ai eu soin d'exposer en forme de maximes toutes les regles que j'ai déduites de l'analyse ordinaire & des nouveaux calculs : j'ai même appliqué ces maximes à des exemples numériques, pour qu'on se les rendit plus familières & et qu'on s'en servit avec la même confiance que la plupart ont ordinairement pour les opérations de la Géométrie Pratique, quoiqu'ils ignorent la théorie qui les a fournis. »⁴³

⁴³ Bernard Forest de BELIDOR, *Architecture hydraulique, ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les besoins de la vie*, Paris, Charles-Antoine Jombert, 1737.

Nous avons vu le rapprochement que Wolff lui-même faisait entre Bélidor et l'œuvre antérieure de Leupold, et en effet, nous trouvons chez Leupold une démarche similaire. Cherchant à former l'artisan, à rendre simple ce qui est parfois complexe, Leupold, comme Bélidor, parsème ses différents chapitres de maximes générales, permettant à tout un chacun d'appliquer ce qu'il doit. Les paragraphes suivants montrent d'ailleurs que Leupold a le même souci d'exercer le lecteur que l'illustre ingénieur français.

Notons cependant une grande différence dans la méthode pédagogique. Bélidor s'appuie sur l'algèbre et le raisonnement déductif. Or, nous le verrons, Leupold préfère au calcul, la démonstration par l'expérimentation, à l'aide de modèles, de procédés et d'instruments qu'il lui arrive lui-même d'inventer. D'ailleurs, les maximes de l'auteur allemand sont aussi souvent les conclusions de démonstrations ou d'expériences, que des conseils très spécifiques, issus de son expérience personnelle. Il n'est pour s'en convaincre que de citer l'une de ces listes de conseils, ici sur la taille et le matériau des barreaux de lanternes et des dents des pignons en bois :

« De la partie des dents et de la lanterne doit-on *observer*

- (1) Combien fort ceux-ci doivent travailler, ou quel quantité de poussée/force (« *Gewalt* ») ils vont endurer, parce que plus la poussée/force est grande, plus fortes (« *stark* ») doivent être dents et lanternes ; parce que cependant des dents fortes font plus de *frottement* que les petites, on ne doit donc pas les faire toutes petites, ni non plus trop grosses sans raison.
- (2) Le *matériau* dans lequel on les fabrique ; parce que plus rigide est le *matériau*, plus petits peuvent-ils être.
- (3) Comment se comportent l'une contre l'autre une roue et une lanterne ; c'est-à-dire, combien de tours fait la lanterne, quand la roue tourne une fois ; parce que si la lanterne tourne 6 fois, quand la roue ne tourne qu'une fois, alors le barreau de la lanterne doit subir 6 fois plus que les dents de la roue, et de là il le faut faire d'un *matériau* plus fort et plus dur [...] ; de ça il n'y a aucune règle *universelle*, mais on doit prendre celui-ci dans la circulation et l'expérience, de là vient aussi, qu'on trouve beaucoup de ces mêmes divisions [des dents]. »⁴⁴

⁴⁴ TM1, chapitre 5, § 85. Texte original : „Bei Abtheilung der Zähne und Getriebe hat man zu *observiren* : / (1) Wie starck solche arbeiten müssen, oder wie viel Gewalt sie auszustehen; denn je grösser die Gewalt, je stärker müssen Zahn und Getriebe sein; weil aber starcke Zähne mehr *Friction* machen als kleine, so muss man solche nicht allzuklein, noch auch ohne Noth zu gross machen./ (2) Was man vor *Materie* darzu hat; denn je fester die *Materie*, je kleiner solche sein können./ (3) Wie sich Rad und Getriebe gegeneinander verhalten; das ist, wie oft das Getriebe umlaufft, ehe das Rad einmahl umlaufft; denn wenn das Getriebe 6 mahl rumlaufft, ehe das Rad einmahl, so folget, dass der Trieb-Stecken 6 mahl mehr als der Zahn ausstehen muss, und dannenhero stärker und von härterer *Materie* zu machen ist, als wenn er

Il est intéressant de noter que ces remarques viennent combler un manque de connaissances, une lacune dans les lois universelles sur lesquelles le technologue allemand prétend fonder la conception et l'examen des machines. Cela n'est pas dû, comme ce sera montré au chapitre suivant, à une absence de connaissances personnelles. Leupold, comme Bélidor, s'appuie ici sur les travaux des académies des sciences européennes, en particulier celles de Paris et de Berlin. Cependant, son attention aux aspects matériels des machines l'empêche de pouvoir rendre compte de l'ensemble des machines par des principes, aussi en vient-il le plus souvent (notamment sur le choix des matériaux) à donner des conseils pratiques sans justification scientifique. Nous verrons cependant comment il développe parfois un savoir nouveau pour combler ces lacunes par des principes plus solidement établis, notamment sur le frottement.

Des outils directement mobilisables

Prenons l'exemple des roues dentées. Après en avoir, comme ailleurs, décrit les différentes parties, donné l'utilité et expliquer la théorie générale du pignon en lien avec la théorie du levier, l'auteur donne quelques exemples et développe, chose propre à ce premier tome, les moyens de calculer la taille des roues d'un engrenage en fonction de l'effet souhaité. Voici comment, par exemple, il présente la façon de déterminer leur périmètre :

§87 Chercher le *périmètre géométriquement*. À ce propos, *Archimède* a trouvé, que le *périmètre* des cercles se comporte toujours envers le *diamètre* [mot latin] ou diamètre [mot allemand] à peu près comme 22 envers 7, c'est-à-dire que quand le *diamètre* de la roue fait 7 pieds, le périmètre en fait 22. Ainsi : on doit trouver le *périmètre* d'une roue, dont le diamètre est de 6 pieds, on pose donc la règle *de trois* : 7 donne 22, que donne 6 ? [suit un calcul] ou, la roue est de 8 pieds, ainsi on pose : 7 donne 22, que donne 8 ? [suit un calcul]. Le *périmètre* d'une roue de 6 pieds est donc de 18 et $\frac{6}{7}$ et celle d'une roue de 8 pieds de 25 et $\frac{1}{7}$.⁴⁵

etwa nur ein oder zweimahl umlieffe, wenn das Rad einmahl; Dannenhero ist keine *Universal*-Regel anzunehmen, wie starck Zähne und Getriebe zu machen, sondern man muss solches aus dem Umlauff und aus der Erfahrung hernehmen, daher es auch kömmt, dass man vielerlei Abtheilung derselben findet.“

⁴⁵ TM1, chapitre 5, §87. Texte original : „Die *Peripherie geometrice* zu suchen. Hierzu hat *Archimedes* gefunden, dass sich die *Peripherie* des Cirkels allezeit beinahe verhält gegen den *Diameter* oder übers Creuz wie 22 zu 7, das ist, wenn der *Diameter* des Rades 7 Fuss, ist der Umkreis 22. Als : man hat ein Rad, dessen *Diameter* übers Creuz ist 6 Fuss, die *Peripherie* zu finden, setze nach der Regel Detri also : 7 giebt 22, was 6 ? [calcul], Oder, das Rad ist 8 Fuss, so setze : 7 giebet 22, was 8 ? [calcul] ist also bei 6 Fuss die *Peripherie* 18 et $\frac{6}{7}$, und bei 8 Fuss 25 et $\frac{1}{7}$.“ Notons que la définition „*Diameter* oder übers Kreuz“ répond à une définition juste au dessus, §86 : „*Peripherie* oder Umkreis.“

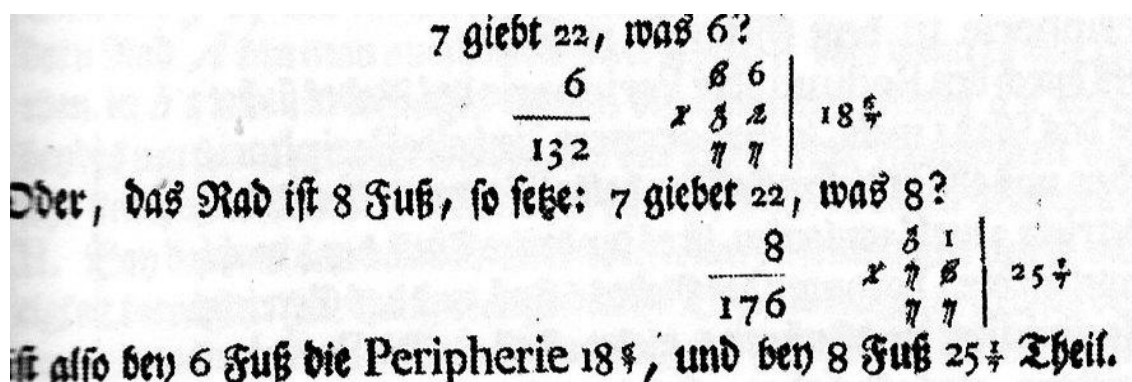


Figure 41 : Calcul du périmètre de roues d'un diamètre de 6 et de 8 pieds (TM1, §87)⁴⁶

Leupold s'appuie ici sur un résultat d'Archimède. Pour autant, il ne fait qu'appliquer, avec la règle de trois, une loi de proportionnalité, sans rendre compte du calcul d'Archimède, ou sans se soucier de démontrer la justesse de cette proportion⁴⁷. Ce que réalise ici Leupold, fidèle à la simplicité qu'il s'est donné comme objectif, c'est de donner une recette, un calcul rapide à faire à partir d'un résultat. Il ne s'agit pas d'apprendre à un artisan à faire des mathématiques, mais de lui donner un outil facilement mobilisable pour définir le périmètre d'une roue. Par ailleurs, si le calcul rebutait le lecteur, Leupold propose une autre méthode, dite « mécanique », au paragraphe suivant⁴⁸. Il s'agit d'utiliser deux règles divisées en 22 parties égales, de les placer avec leurs divisions en concordance, puis de les ouvrir de telle manière à avoir, entre les deux « 7 », la longueur du diamètre de la roue, dont le périmètre sera donné par la longueur entre les deux « 22 ».

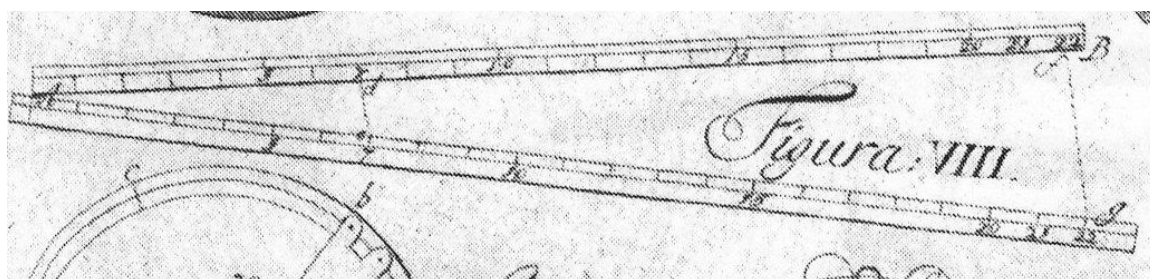


Figure 42 : Méthode "mécanique" pour déterminer le périmètre d'une roue dentée en fonction de son diamètre (TM1, planche 14)

⁴⁶ Je ne comprends pas la notation de Leupold, mais, calculs vérifiés, il applique ici la règle de trois, et le calcul est juste.

⁴⁷ Le périmètre d'une roue est égal à son diamètre multiplié par pi. Or $22/7 = 3,143$ quand $\pi = 3,142$, la différence n'est donc pas si grande.

⁴⁸ TM1, chapitre 5, §88. Texte original : „Die Peripherie mechanice zu suchen.“

Là encore, l'usage d'instruments simples qui se substituent au calcul a pour objectif de donner au lecteur un outil efficace, et facile d'utilisation, pour la conception de ses roues dentées, en fonction de ses besoins. La suite de l'explication détaille d'ailleurs, à partir du périmètre et des propriétés souhaitées de l'engrenage (ici roue-lanterne, la plus utilisée), les façons de calculer nombre, taille et écart des dents, en fonction du rapport souhaité entre le pignon (roue à réaliser) et la lanterne, crémaillère ou roue entraînée, ou en fonction d'autres données choisies. Et même pour ces divisions, Leupold ne laisse pas le lecteur seul, lui proposant une table de division des nombres impairs (la division des nombres pairs se faisant toujours par 2), mettant en évidence les nombres premiers, de telle manière à montrer que les périmètres égaux aux nombres premiers ne sauraient être divisés si facilement.

Enfin, une fois toutes ses méthodes et explications données. Leupold revient sur l'aspect matériel de la création des roues dentées. Le travail de création des grosses roues ne pose pas de problème majeur, puisque chaque dent est en fait constituée d'une cheville taillée et enfoncée dans la périphérie de la roue à denter. Plus fastidieux est le travail des petites roues d'horloges, en cuivre le plus souvent, aux dents souvent triangulaires et réalisées alors manuellement, au compas et à la lime. Leupold propose ici deux machines permettant de diviser facilement les cercles, d'accélérer le façonnage et de garder la précision du travail. De pédagogiques, les instruments deviennent de véritables machines-outils. Tout cela, malgré l'aspect extrêmement déductif de sa collection, rappelle le côté très pratique que Leupold entend donner à ses ouvrages. Sa pédagogie est en partie fondée sur l'usage facilité d'outils intellectuels et/ou matériels de conception et de fabrication.

Exercices de calcul

L'aspect interrogatif que Leupold donne à son calcul des périmètres de roues laisse déjà poindre la forme de l'exercice dans son ouvrage. Et d'autres passages, proposent des séries d'exercices similaires, comme sur la machine de Ramelli (voir ci-dessus) ou dans les §31 à 41 du chapitre sur le levier. Or, est-il de forme qui témoigne plus de la volonté pédagogique d'un ouvrage, si ce n'est l'exercice ?

Le quinzième chapitre, venant clore la description des machines simples et des principes fondamentaux de la statique, est, à cet égard, particulièrement symptomatique. Intitulé : « De l'application et calcul des machines, quand le poids et l'énergie sont connus, ou pour trouver l'autre quand la machine et l'un des deux est connu », il consiste en huit paragraphes qui sont autant d'exercices, bien que le mot ne soit jamais écrit tel quel. Voici comment se présente l'un d'eux :

§213 On a fig. 7 deux roues avec leurs arbres et encore une manivelle, la roue A se comporte envers son axe comme 1 à 4, la roue B envers son axe comme 1 à 5, la manivelle C contre son engrenage comme 1 à 6, à l'arbre D est pendu un poids de 10 quintaux ou 1100 livres et sera demandé : quelle force doit avoir l'énergie pour maintenir le poids en équilibre ? On multiplie d'abord le comportement de la machine ensemble, ainsi le 6 de la manivelle C avec le 5 de la roue B donne 30, celle avec le 4 de la A donne 120, par lequel on divise les 1100, cela fait 9 livres et 1/6. Ainsi, pour garder en équilibre les 1100 livres, il suffit de moins de 10 livres.⁴⁹

L'exercice est relativement simple, et ne tient pas compte des frottements qui sont détaillés dans le chapitre suivant. La solution, du reste, est donnée avec l'exercice et non placée à part, comme si le livre était davantage un livre à utiliser par un maître avec son élève, que seul. Y verrait-on la préfiguration d'un usage scolaire de l'œuvre de Leupold ? Sans s'avancer jusque là, cette citation témoigne du caractère fortement pédagogique du premier tome. Il s'agit de donner au lecteur des habitudes de calcul, de l'exercer pour qu'il ait un certain automatisme, afin que la suite des tomes lui paraisse plus simple, bien sûr, mais aussi pour qu'il puisse faire sien la plupart des principes énoncés, afin de les réutiliser dans toutes les occasions. C'est une façon d'imposer une certaine lecture de la machine, et d'aider à la conception.

Insistons encore sur la fin du paragraphe, qui résume le calcul en un laconique « il suffit de moins de 10 livres » d'énergie ou contrepoids (environ 5kg) pour soulever un poids de 1100 livres avec cette machine (environ 500kg). La transformation du résultat précis du calcul en un ordre de grandeur dénote un autre objectif : celui de familiariser le lecteur avec des proportions raisonnables. La multiplication des exercices sur différents

⁴⁹ TM1, chapitre 15, §213. Texte original : „§213 Fig. VII hat man zwei Räder mit ihren Wellen und noch eine Kurbel, das Rad A verhält sich gegen die Welle wie 1 gegen 4, das Rad B gegen seine Welle wie 1 zu 5, die Kurbel C gegen das Getrieb wie 1 zu 6, an der Welle D hängt eine Last von 10 Centner oder 1100 Pf. und wird gefragt : Wie starck die Krafft sein muss die Last in Aequilibrio zu erhalten ? Multipliciret erstlich das Verhältnis der Machine zusammen, als C die Kurbel 6 mit 5 des Rades B ist 30, dieses mit 4 des Rades A, macht 120, dieses dividiret in 1100, thut 9 et 1/6 Pf. so das Aequilibrium zu 1100 Pf. giebet, dass also noch nicht 10 Pf. nöthig sind.“

types de machines permettent au lecteur de se faire un ordre d'idées de l'effet des machines, et ainsi repérer des résultats aberrants. La réduction à un ordre de grandeur témoigne d'ailleurs de l'à-peu-près qui règne encore dans la conception des machines, un à-peu-près à circonscrire et à rationaliser, pour que le lecteur puisse concevoir ses machines. Ainsi, dans les exercices comme pour les outils, l'efficacité prévaut, tant dans le contenu que dans les méthodes pour le retenir.

Répéter les informations

« Troisièmement, à quelques endroits, une chose, qui aura certes été déjà expliquée et dite, sera présentée une nouvelle fois, mais avec d'autres exemples, figures, et mots, non cités ni utilisés jusque là, pour bien conserver les [exemples] précédents, ou seulement les *répéter*, ou peut-être plus facile à comprendre avec un autre [exemple], quand le premier n'était pas adéquat, ou en liant les deux, parce que la plupart du temps, il est utile de connaître une telle chose, qui est difficile à comprendre, mais *fondamentale*. Pour cette raison aussi les choses sont décrites avec plus d'un exemple. Ainsi, il y a une grande différence entre écrire un livre pour des érudits, qui peuvent s'aider d'autres connaissances, ou qui peuvent aussi jouir de l'enseignement et de l'explication du sujet par un autre [érudit], et l'écrire pour celui qui manque beaucoup de ces mêmes avantages et enseignements et qui doit y arriver juste par sa réflexion et le livre [à savoir le *Theatrum Machinarum Generale*]. »⁵⁰

Que ce soit dans les conseils qui émaillent le propos de Leupold, dans les définitions ou par les exercices, les principes généraux de la mécanique, les rapports les plus fréquemment utilisés sont souvent rappelés, généralement sous forme de maximes quant à la longueur des bras de leviers (ou équivalent dans la machine étudiée), des relations au temps que cela entraîne, ou d'autres points concrets issus de la statique. Parfois aussi, il est fait référence à un calcul réalisé dans des chapitres précédents, ou à une table donnée ailleurs dans l'ouvrage. Cette redondance des informations, qui dépasse le simple rappel des bases de la *statique* et/ou de l'hydraulique du début de chaque tome, a

⁵⁰ TM1, préface. Texte original : „Zum Andern nicht allezeit an eine *mathematische* Lehr-Art fest gebunden, sondern wie es am bequemsten vorkommen, und man vermeinet, dass es solchen Leuthen am leichtesten zu begreifen sei. Derohalben / Drittens an etlichen Orthen eine Sache, die zwar vorher schon erkläret oder gesaget worden, noch einmahl, aber mit andern Exempeln, *Figuren* und Worten vorgetragen wird, weil es mehrentheils eine solche gewesen, die schwer zu verstehen, und dennoch *fundamental* zu wissen nöthig ist, damit diejenigen, so weiter keine Anführung haben, und nicht gewohnt sind, das vorgehende fest zu behalten oder nur zu *repetiren*, und vielleicht aus dem andern, wenn das erste nicht zulänglich gewesen, oder aus Zusammenhaltung beider, desto leichter es fassen mögen, um der Ursachen auch meist mehr als ein Exempel gesetzt worden. Denn ist ein grosser Unterscheid, ein Buch zu schreiben vor Gelehrte, oder die sich durch andere hierzu nöthige Wissenschaften selbst helfen, oder auch von andern darüber Unterricht und Erklärung geniessen können, und zwischen einem dem dergleichen Vortheil und Unterricht gänzlich ermangelt, und es blos auf sein Nachsinnen und das Buch muss ankommen lassen.“

amené certains chercheurs⁵¹ à accuser le marchand d'instruments scientifiques de verbiage, faisant des multiples répétitions un argument pour rappeler la précipitation de la publication des différents volumes. En réalité, comme le montre cet extrait de la préface du premier tome, il s'agit bien d'un choix délibéré, la répétition étant, selon l'expression populaire, la base de la pédagogie.

Enfin, Leupold se contente rarement de ne proposer qu'un seul exemple ou une seule machine appliquant tel ou tel principe. Il préfère décrire de nombreux exemples pour illustrer un principe (parfois sous la forme d'un exercice), ou de nombreuses « façons » (« *Arthen* ») d'une même machine générique. Ces « façons » abondent déjà dans le premier tome, concernant les balances par exemple, et forment la grande majorité du propos dans les tomes suivants, leur donnant ainsi un aspect beaucoup plus proche des théâtres antérieurs. Les termes « d'exemples » et de « façons » témoignent pourtant du caractère déductif que Leupold donne à son œuvre : la machine est une « façon » d'appliquer la théorie, un « exemple » de ce qui a été théoriquement expliqué ; ce n'est plus une machine autonome, décrite dans sa singularité. Le verbe « appliquer » (« *appliciren* »⁵²) est d'ailleurs utilisé, et ce, dès le premier tome.

En bref, les référents, à la fois machines réelles et concepts, offrent une nomenclature permettant à l'auteur de décliner chaque possibilité en différentes machines particulières. Nous reviendrons plus loin sur le sens de ces énumérations, mais nous devons d'abord nous concentrer sur la base scientifique, sur les savoirs mécaniques sur lesquels s'appuie Leupold dans l'ensemble de son œuvre, et là encore, sur la pédagogie mise en place pour en rendre compte.

⁵¹ Notamment Ulrich TROITZCH, « Über Jacob Leupold », *op. cit.*, repris dans George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*

⁵² Leupold germanise la finale du verbe latin, comme dans tous les mots latins qu'il utilise.

Chapitre 11 : Enseigner une théorie des machines

Le premier tome de la série est certes très original, par rapport au reste de la collection, mais il constitue surtout l'aboutissement d'une évolution apparue avec Salomon de Caus et Heinrich Zeising¹, qui était déjà présente dans le manuscrit de Besson, à savoir : placer un socle de principes théoriques avant tout développement ultérieur. Ce socle, nous l'avons vu, est constitué d'une série de machines de référence, n'ayant plus, d'une certaine manière qu'à être agencées de différentes manières en fonction de l'objectif qu'on souhaite obtenir. G.W. Lockett² s'est beaucoup penché sur ce premier tome, ainsi que sur le second et les développements théoriques des tomes suivants (notamment les tomes 2 et 6). Nous souhaiterions, sans répéter inutilement l'excellent travail d'éclaircissement de la pensée scientifique de Leupold, rappeler quelques uns de ces principes, et surtout montrer comment, dans ce premier tome, Leupold use d'une méthode scientifique radicalement différente des méthodes antérieures pour rendre compte des connaissances de son temps, et en acquérir de nouvelles, et comment, il cherche à rendre accessibles ces différentes connaissances. Il s'agit d'entrer ici dans l'atelier de Leupold, dans le long travail de construction théorique auquel il s'est livré afin d'offrir à chaque artiste une base solide en science mécanique.

La statique comme fondement

Toute conception raisonnée et mathématisée de machines, jusqu'au XVIII^e siècle, s'appuie sur un corpus de connaissances, appelé statique. Développée par les mathématiciens qui, héritiers d'Aristote, d'Archimède, et des mathématiciens médiévaux, n'ont cessé d'accroître, à la suite de Jérôme Cardan, Guidobaldo del Monte et Simon Stevin, son champ d'application, la *statique* vise à étudier les corps au repos³, c'est-à-dire, dans un langage plus récent, quand toutes les forces s'appliquant sur un

¹ Voir « Un traité de mécanique : Salomon de Caus (1615) », p. 55; et « La piste allemande : encyclopédisme et théâtres de machines (1607-1727) », p. 79.

² George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*

³ Pour plus de détails sur la science *statique* à l'époque moderne, lire Pierre DUHEM, *Les origines de la statique*, Paris, Gabay, 2006.

corps s'annulent. Paradigme majeur de la compréhension des machines dans le monde savant, la science mécanique en vient souvent à se confondre avec la statique, à condition d'exclure les rares remarques relevant de la Dynamique (étude des corps en mouvement), qui ne prend véritablement son essor qu'à partir du XVIII^e siècle. C'est dans le cadre de la *statique* qu'est mis en évidence le parallélogramme des forces, le concept de barycentre, voire de centre de gravité, ou d'autres concepts majeurs de physique mécanique.

Nulle surprise donc à ce que certains résultats de *statique* soient connus de quelques mécaniciens bien instruits. Nous en retrouvons, parfois sous forme mathématique, souvent sous forme de maximes, dans les théâtres de machines successifs depuis le manuscrit de Besson jusqu'à certaines remarques de Böckler, mais jamais la jonction entre cet ensemble théorique cohérent, considéré à l'époque moderne comme une branche des mathématiques, et qui est enseigné de plus en plus dans les écoles et les collèges d'Europe, et la pratique de la conception de machines, dont l'émergence de la figure de l'ingénieur rend nécessaire la mise en place d'une méthode, n'avait encore été si brillamment réalisée avant l'œuvre de Leupold⁴. Celui-ci, cependant, simplifie les principes de la statique, n'en retient que les calculs et les résultats les plus faciles à manier, toujours dans cet objectif pédagogique de simplicité, qui marque toute son œuvre. Son explication n'en demeure pas moins limpide et inscrite dans ce paradigme, dont il nous faut rapidement faire le tour.

Le principe du levier d'après Leupold

La plupart des théorèmes de la *statique* reposent, comme le rappelle plusieurs fois Leupold, sur le principe du levier, énoncé par Archimède dès le III^e siècle avant Jésus-Christ. Le principe, transcrit dans un langage plus contemporain est le suivant : soit un point de pivot C, et une barre indéformable AB posée sur lui, une des extrémités de la barre est éloignée du point de pivot d'une distance D_a , et l'autre d'une distance D_b . À chaque extrémité de la barre sont placés des poids P_a et P_b . Le bâton demeurera en équilibre sur c, si et seulement si $D_a \times P_a = D_b \times P_b$.

⁴ Sauf peut-être, à son époque, le QQTS de Johann Terrenz et Wang Zheng : voir *infra* « Un manuel de mécanique chinois inspiré des théâtres de machines (1627) », p. 63.

Par exemple, si la distance séparant le pivot du point B est la triple de celle séparant le pivot du point A ($D_a = 3 D_b$), et qu'on place un poids P_a en A, alors, pour que le bâton soit à l'équilibre (à l'horizontal), il faut que le poids en B, $P_b = D_a/D_b \times P_a$, soit $1/3 P_a$, c'est-à-dire un tiers du poids en A. De là vient ce qu'on appelle l'effet de levier, à savoir, que plus on s'éloigne du point d'appui, plus il est facile de soulever un poids placé sur l'autre extrémité de la barre, plus proche du pivot. Dans ce cas, si $P_a = 3 \text{ kg}$, il suffirait d'un 1 kg placé en B pour soulever le poids jusqu'à l'horizontal, et à peine un peu plus pour le soulever au-delà.

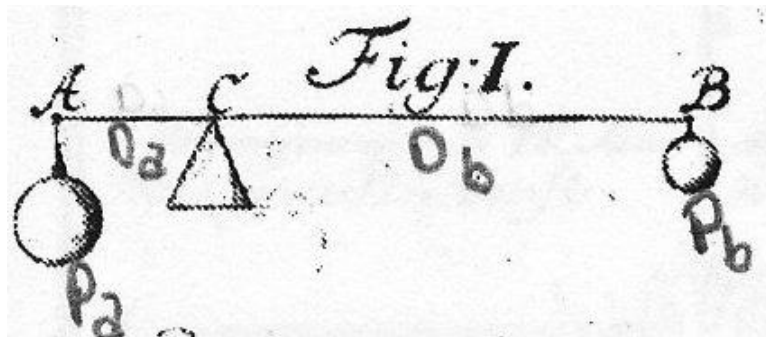


Figure 43 : Schéma du levier par Jacob Leupold, complété par nos soins. Extrait de J. Leupold, *Theatrum Machinarum Generale*, 1724 planche 1, figure 1.

La façon qu'a Leupold de donner l'explication du levier est relativement similaire, mais la démarche est différente. Toujours à son souci de simplicité, celui-ci ne propose aucune démonstration mathématique ni physique, de même qu'il ne pose pas de théorème ou de proposition *a priori*. Cela, alors qu'Archimède, autorité largement suffisante, avait déjà donné une démonstration et que le résultat était connu. Ce qui intéresse Leupold c'est non seulement le résultat, mais surtout sa traduction concrète, et c'est pourquoi sa méthode d'exposition des propositions de *statique* diffère quelque peu de celle de ses contemporains mathématiciens. En effet, après avoir décrit un référent matériel, l'auteur décrit d'abord une situation, comme un bâton placé sur un pivot, avec un côté de telle longueur (le bras court), un côté de telle autre (le bras long), et affirme, tel poids accroché à l'extrémité du bras, la nécessité d'accrocher tel autre pour placer le bras en équilibre. Il donne ainsi d'autres exemples, puis conclut avec le principe : « Comme se conduit la distance du poids et du point de repos, à la distance de l'énergie à ce même point de

repos, ainsi se conduit l'énergie elle-même vis-à-vis du poids. »⁵, ce qui est une autre façon de poser $Da/Db = Pb/Pa \Leftrightarrow Da.Pa=Db.Pb$. Aucun calcul n'a été posé, aucune démonstration réalisée, le principe vient simplement conclure une série d'observations et d'expériences.

Dans la suite du chapitre, Leupold décrit les différentes façons de leviers⁶, en prenant toujours soin de placer ses façons dans des exemples concrets. Il est possible de placer le point fixe en suspension, comme sur la balance romaine ; et il est aussi possible de le placer à une extrémité du levier, à condition qu'un des deux poids, suspendu à une poulie, tire le levier vers le haut, quand le second pousse vers le bas. Leupold décrit ces différentes possibilités, et montre que le résultat ne change guère. Plus intéressant, il propose plusieurs fois des tables permettant, assez rapidement et sans faire le calcul, de trouver un contrepoids (énergie) en fonction du poids opposé et des distances respectives au point fixe, appelé point de repos. L'efficacité demeure encore la règle de sa pédagogie, avec là encore, la mise à disposition d'outils directement utilisables.

Le souci de pondérer les résultats scientifiques par l'observation matérielle est encore confirmé par de nombreuses remarques qui parsèment le propos de Leupold. Celles-ci attestent de l'attention portée à la diversité des échelles de poids selon les régions, à la stabilité des bras de levier, ou encore aux matériaux utilisés. Une remarque est ici particulièrement intéressante, en ce qu'elle montre combien Leupold cherche à rendre compte, jusque dans la théorie, des propriétés physiques des instruments et machines qu'il présente. La première concerne le poids du bras de levier lui-même, considéré dans les premiers paragraphes comme une simple ligne, Leupold montre que pour être seul à l'équilibre, le poids du grand côté est proportionnel au carré de sa taille : « Ainsi, si le bras long est quatre fois plus grand que le court, il est 16 fois plus lourd »⁷, ce qui n'a guère d'influence sur les levier légers comme le sont les fléaux de balances, mais qui peut avoir un sens dans d'autres cas. Suit une série de remarques concernant le point d'application sur le bras, et l'implication du poids des bras dans le calcul des effets de levier.

⁵ TM1, chapitre 2, § 22 : „Wie sich verhält der Abstand der Last von dem Ruhe-Punct, zu dem Abstand der Krafft, von eben diesem Ruhe-Punct, also verhält sich die Krafft selbst gegen die Last.“

⁶ Dont les balances bien entendu. Il est intéressant de remarquer que Salomon de Caus, lui, plaçait l'explication des balances avant celle du levier.

⁷ TM1, chapitre 2, §52. Texte original : „denn ist der lange Arm 4 mal länger als der kurze, so ist 16 mahl schwerer.“

Du levier aux machines simples

Cette démarche, qui ne trouve dans les mathématiques que des modèles permettant de faciliter l'appréhension chiffrée de l'efficacité des machines, sans y chercher aucune démonstration, est la même que Leupold utilise pour décrire le reste des principes de statique, qui sont au fondement des différentes machines simples. Le marchand d'instruments innove d'ailleurs assez peu, améliorant parfois une façon ou une autre de ci, de là, il emprunte la plupart des principes et des machines et instruments y afférant à d'autres auteurs, parfois assez anciens. Sa description des machines simples apparaît donc comme une synthèse de connaissances antérieures, largement détaillées dans plusieurs ouvrages allemands. Le fait même de placer ces connaissances au début de sa collection sonne davantage comme la brillante fin d'une tradition allemande arrivée à maturité que comme une nouveauté.

Nulle surprise donc, à ce que notre auteur explique que les machines simples découlent toutes du principe du levier. La poulie, par exemple, peut se comprendre comme un levier, dont la barre serait le diamètre, et le point fixe défini en fonction de la position du poids. Dans le cas d'une poulie simple, le centre de la roue à gorge est le point fixe, et le levier d'un rapport de 1/1. Pour gagner en force, il faut placer le centre de gravité du poids à soulever à la verticale du centre de la roue à gorge, suspendre une partie de la corde à un crochet (point fixe) et placer le poids à l'autre extrémité de la corde, faisant ainsi un levier du second type, le point fixe étant à une extrémité de la "barre" (diamètre de la roue), le poids A au centre et le poids B à l'autre extrémité : la distance $D_b = 2D_a$ et donc le poids nécessaire $P_b = 1/2 P_a$ pour maintenir le système à l'équilibre. Il suffit ensuite, comme dans un moufle, de multiplier les poulies, en faisant du poids P_b (énergie dans le langage de Leupold) un nouveau poids P_a , et ainsi de suite, permettant de diviser l'énergie nécessaire à l'élévation du poids par 2, 4, 8, 16 etc. Là encore, Leupold prévient le lecteur que ce gain de force se paie par une perte de vitesse de fonctionnement, sans compter les frottements produits.

Résumons ainsi brièvement la façon dont chaque machine simple est liée au principe du levier ou à d'autres principes de mécanique⁸. Le treuil joue sur la différence entre le rayon de l'axe, correspondant au bras court, D_a , et la taille du bras utilisé par le travailleur, correspondant au bras long D_b ; le centre de l'axe étant le pivot ou point fixe.

Les trains d'engrenages jouent sur les diamètres des roues. La roue, insérée sur un axe, se comporte ici comme les bras d'un treuil, le rayon de la roue correspondant au bras long, celui de l'axe au bras court. Cet axe peut lui-même être entraîné par une roue à grand rayon et ainsi de suite en démultipliant à chaque fois la force de l'effet levier. La forme et le nombre des dents ne sont définis, quant à eux, que relativement aux conditions d'usure et de frottement, une autre façon de tenir compte de l'interférence entre les dents, en réalité. Dans ce chapitre sur les roues dentées et les lanternes, les remarques sur les matériaux et leurs déformations en fonction du climat sont très nombreuses et témoignent là encore des limites matérielles que Leupold oppose à la théorie mécanique.

Le coin est considéré en réalité selon le même principe qu'un plan incliné. C'est là tout un autre pan de la théorie de Leupold qui se développe, avec une explication détaillée du plan incliné et du gain de force qu'il entraîne, lié en fait au levier : la hauteur du plan incliné et sa longueur jouant ici le rôle de bras court et long (selon leur rapport). Là encore, rares sont les calculs, et les mathématiques, notamment la géométrie permettent simplement de modéliser et de schématiser, bref de réduire en principe, la matérialité du coin.

La vis est considérée comme un arbre autour duquel s'enroule un plan incliné. Et la vis sans fin comme un engrenage. Les calculs se rapportent au levier en fonction du rayon du centre de la tige au creux des dents comme à leur fait, et en fonction de l'écrou, comme pour une roue dentée, le rayon de celui-ci et le rayon de l'arbre dans lequel il est inséré.

⁸ Un exposé plus détaillé de la *statique* développée par Leupold nous amènerait hors des limites que nous nous sommes fixés dans cette thèse. G.W. Lockett (George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*) donne parfois quelques précisions supplémentaires, mais seule la lecture du livre dans son entier permet d'avoir une idée détaillée de la démarche de Leupold sur chacune de ces questions. Une traduction française de ce seul premier tome mériterait d'ailleurs l'attention de toute la communauté, en ce qu'il résume et la science et la façon de concevoir les machines de tout un siècle.

« Une manivelle n'est rien d'autre qu'un levier, qui se meut dans un rond »⁹ explique Leupold au début du chapitre neuf. C'est-à-dire que la distance du centre de l'axe à la poignée de la manivelle joue le rôle du bras long (Db) et le rayon de l'axe celui du bras court (Da) ; le centre de l'axe étant le point pivot, ou point fixe.

Les derniers chapitres de cette première partie du *Theatri Machinarum Generale* poursuivent l'objectif de rendre accessible plusieurs mécanismes très généraux et très connus. Ainsi Leupold décrit-il des machines et mécanismes permettant d'emmagasiner de l'énergie, comme les volants d'inertie (chapitre dix) et les balanciers (chapitre onze). Suit un chapitre douze plus cinématique, présentant des mécanismes permettant de régulariser le mouvement de la manivelle et offrant de nouvelles possibilités mécaniques (comme la transformation d'un mouvement rotatif continu en mouvement linéaire alternatif par la bielle-manivelle ou d'autres mécanismes). Le treizième chapitre décrit une machine simple, rarement citée : le pantographe. Ce système connu pour reporter des dessins a aussi la propriété, avec des bras solides, de jouer comme des leviers placés en série, selon le même principe qu'un cric de voiture aujourd'hui. Ici le rapport au levier redevient direct. Le quatorzième chapitre revient sur les relations capacité/vitesse « démontrées à travers 9 machines »¹⁰, le quinzième consiste en une série d'exercices venant clore cette première partie sur les principaux mécanismes utilisés. Nous reviendrons plus bas sur les chapitres suivants, mais il nous faut aller plus avant pour clore cet exposé de la démarche utilisée par Leupold pour rendre accessible à tous une théorie cohérente des machines.

De la théorie à la pratique

La compréhension de la *statique* ne suffit pas à savoir concevoir des machines, fussent-elles simples. Là encore, la matérialité des machines, leur situation, et la difficulté à obtenir de bons mécanismes, remettent en cause la plupart des résultats trouvés sur le papier. Leupold, pour palier à ces problèmes, propose d'abord de réaliser des expériences, dont l'aspect directement scientifique brouille la frontière entre le traité et le

⁹ TM1, chapitre 9, §147. Texte original : „Eine Kurbel ist nichts anders als ein Hebel, so in die Runde bewegt wird.“

¹⁰ TM1, sommaire. Texte original : „*Demonstrationes* durch 9 Exempel, dass alle Maschinen in Ansehung der Kraft und Zeit einerlei Vermögen haben.“

manuel. Mais si les expériences se situant en amont de la théorie cherchent à en démontrer les causes, elles ne permettent pas toujours d'aider à l'application des principes au monde matériel. C'est pour faciliter ce passage que Leupold complète son volume par la présentation de plusieurs petites machines facilitant la conception et la construction de petites pièces mécaniques. Nous verrons ici d'abord le rôle des expériences et la pensée qui préside à l'invention des petites machines-outils permettant de construire des pièces mécaniques de base.

Le double rôle des expériences

Les théories expliquées ci-dessus étaient largement connues, et si Leupold met dans leur exposition tout son génie de pédagogue, il n'invente là que peu de choses. Il a d'ailleurs mentionné ses sources dans la préface, et cite d'autres auteurs chez qui il a emprunté telle ou telle machine décrite. À plusieurs reprises, cependant, ce premier tome voit son statut de manuel devenir ambigu. Le livre glisse, dans certains passages, du statut de manuel à celui de traité, d'un rôle pédagogique à un rôle d'acquisition des connaissances. Ne faisons cependant pas d'anachronismes, la distinction n'est pas opérante au XVIII^e siècle : transmettre et acquérir des connaissances vont souvent de pair, et le même livre peut avoir des parties destinées aux savants quand d'autres le sont aux artisans, tant que la cohérence est conservée.

Les expériences sont un bel exemple de cette ambiguïté, car elles sont autant des moyens d'acquisition que des moyens de transmission des savoirs. Or Leupold apprécie particulièrement les expériences, comme il le dit dès la préface du *Theatrum Machinarum Generale* :

« Sixièmement, il faut rappeler qu'ici seront présentées [les machines simples et les moteurs] en *Figures* et expliquées avec diverses *machines*. Et à la vérité, surtout en détail, parce que c'est une chose qui devrait être examinée davantage à travers la pratique et les *expérimentations* qu'à travers de faibles *spéculations* sur le papier. Ces expérimentations exigent beaucoup de temps, de dépenses, d'*expérience*, de *machines*, et surtout des occasions aisées, qui ont manqué jusqu'ici à l'auteur pour de nombreuses parties [il en appelle par la suite à d'autres de rendre compte de leurs éventuelles expérimentations]. »¹¹

¹¹ TM1, préface. Texte original : „Zum sechsten ist zu erinnern, dass allhier [...] in *Figuren* vorgestellt, und mit besondern *Machinen* erkläret sind [...]. Und zwar vornehmlich darum, weil es eine Sache die mehr aus Erfahrung und

L'argument développé n'est pas nouveau, c'est plutôt un lieu commun qui traverse toute la littérature des théâtres de machines. Le trouver en préambule du volume le plus théorique des *Theatri* n'est pas d'ailleurs sans poser question : se proposer de rendre compte des principales théories mécaniques tout en raillant les spéculations inutiles n'est-il pas contradictoire ? Peut-être Leupold vise-t-il ici la querelle des forces vives, qui fait alors rage, et de façon plus générale, les querelles scientifiques qui émergent sur la mécanique ? Peut-être, au contraire, s'inscrit-il dans la lignée de la critique de la scholastique et les spéculations qui ont toujours lieu dans la plupart des universités ? Quoiqu'il en soit, il ne faut pas croire que cette critique s'adresse à la science en général, au contraire, là où la plupart des théâtres de machines opposaient aux discours spécieux des savants, la simple pratique des machines, l'expérience au sens d'*experientia*, Leupold ajoute lui l'*experimentatio*, l'expérimentation, pratique centrale du nouveau paradigme scientifique qui s'est fait jour au XVII^e siècle¹². Seconde différence avec les autres théâtres de machines, et corollaire de la première, le tome ainsi introduit fourmille d'expériences diverses, Leupold allant jusqu'à proposer des procédés et instruments originaux et personnels pour tester certains principes, ou parfois créer des tables (surtout en ce qui concerne les mesures des différentes énergies).

Pour Leupold, réaliser des expériences et les décrire, c'est en réalité obéir à quatre impératifs. Le premier est celui que donne la science elle-même telle qu'elle est en train de se construire, à savoir celui de la reproductibilité des expériences. Leupold se plaît à reprendre, à ressayer lui-même les expériences d'autres personnes¹³. Le second est celui de la cohérence de son propos. Les expériences et les modèles lui permettent non seulement de tester un principe ou l'autre, mais de ramener aux mêmes principes statiques la plupart des situations. Le troisième impératif vise à toujours rappeler au lecteur que toute théorie ne saurait rendre compte des contrariétés du monde matériel. C'est pourquoi Leupold, à la fin de la préface du second tome, soutient l'usage des modèles, à des fins de test :

Experimenten, als durch bloße *Speculationes* auf dem Pappier, müß untersucht werden, welches aber viel Zeit, unkosten, *Experimente*, *Machinen*, und fürnehmlich bequeme Gelegenheit erfordert, woran es aber dem *Autori* noch in vielen Stücken bishero gemangelt...

¹² Sur cette différence, voir Pascal BRIOIST, « Les sciences et l'expérimentation à la Renaissance », *op. cit.*

¹³ Nous verrons un cas particulièrement intéressant dans le cadre de son analyse des frottements, voir *infra* « Le frottement : de la science aux machines », p. 404.

« Finalement, il faut encore remarquer que de tels *instruments* et *machines*, comme ceux et celles qui viennent dans ces *Theatri*, sont confectionnés, soit, quand ils sont petits, *en nature*, soit, quand ils sont grands, en *modèle*, dans le *laboratoire mécanique de l'auteur*, soit déjà en stock, soit sur commande. En outre, on se réfère ici à ce qui a été rappelé dans la préface du *Theatrum Machinarum Generale*, et demeure [vrai] pour toutes utilités lointaines. »¹⁴

Le laboratoire mécanique de Leupold désigne sans doute son magasin d'instruments scientifiques, si célèbre à Leipzig, ou du moins, la partie de celui-ci où il conserve et invente les différents instruments qu'il utilise. De cette sorte de réclame, qu'il place en petits caractères à la fin de la préface de son second tome, nous pouvons déduire que les expériences dont il fait part ne sont pas des expériences de pensée, mais belles et bien des expériences réalisées. Leupold a donc l'intention de faire avancer la science mécanique, en proposant les comptes-rendus de diverses expériences, qui attestent de l'aspect matériel des choses, et en proposant des outils pour en faire de nouvelles.

De plus, outre que cette annonce témoigne aussi de sa volonté de conserver la reproductibilité des expériences, qui est un des dogmes de la science nouvelle, l'insistance sur l'existence de ces modèles invite le lecteur pédagogue à en acquérir. Ne pourrait-on voir ici, au regard de son appel à mettre sur pied une école spécialisée de mathématiques mixtes étudié plus haut, une publicité à destination des collèges et autres institutions de formation ? Nous avons vu en effet que l'usage de modèles était fréquent dans les rares cours de mécanique de l'époque moderne¹⁵.

Le quatrième et dernier impératif est à la fois pédagogique et scientifique, et il est sans doute le plus important. Il s'agit de montrer les différents phénomènes sur lesquels se fondent les théories qu'il met en place. Permettre à tout un chacun de les observer, ou au moins de se les imaginer par le récit, c'est aussi permettre à tous de reconnaître la matérialité des phénomènes, de les concrétiser. Redonner aux phénomènes leur matérialité, c'est donner une évidence à leur existence que n'auront jamais les théorèmes. Le matériel, le concret, dit le vrai pour ceux qui, comme Leupold, pensent en

¹⁴ TM2, préface. Texte original : „Endlich ist auch zu mercken, dass solche *Instrumenta* und *Machinen*, wie sie in denen *Theatris* [sic] vorkommen, entweder, wenn solche klein sein, *in natura*, oder wenn si gross, in *Modellen*, aus des *Autoris Laboratorio Mechanic*, entweder in Vorrath, oder auf Verlangen verfertigt werden. Im übrigen beruffet man sich auf dasjenige, was in der Vorrede des *Theatri Machinarum Generalis* erinnert worden, und verharret zu allen fernern Diensten.“

¹⁵ Voir *infra* « L'utilité des modèles et du catalogue », p. 131 ; et « L'observatoire et le musée de mathématiques », p. 148.

ingénieurs. D'ailleurs, n'est-ce pas là le sens de la critique des spéculations que ces derniers ne cessent de réitérer depuis la Renaissance ?

Prenons comme exemple le calcul de l'effet des coins (chapitre 5, §95 à 109). Afin de bien définir l'effet du coin, et d'expliquer les causes de son utilité, Leupold estime qu'il est nécessaire de bien connaître l'effet d'un plan incliné sur le poids d'un corps. Dès le paragraphe 103, juste après les définitions habituelles, le mécanicien précise son principe : le poids nécessaire pour déplacer un poids sur un plan incliné est proportionnel au rapport de la hauteur du plan et de la longueur du plan incliné. Dans son exemple, la hauteur du plan étant de 1, la longueur de 3, il faut 1kg pour élever 3 kg sur le plan incliné (utilisant des boules, il néglige le frottement, sans le dire toutefois). La démonstration suit deux chemins : le premier, géométrique, utilise avec astuce quelques propriétés trigonométriques ; le second est matériel, et réside dans une expérience. Cette dichotomie n'est pas sans rappeler la même division dans le cadre du calcul de la taille des roues. Mais il s'agit ici de ce que Leupold appelle une « démonstration ». L'usage du mot révèle combien le marchand d'instruments scientifiques croit dans le dogme expérimental. Voici ce qu'il écrit :

« On ne doit cependant pas ajouter foi à la *démonstration* par des cercles et des lignes sur le papier ; ainsi suit un *instrument*, par lequel sont examinés et essayés le *plan incliné*, ou coin, et son comportement. »¹⁶

Nous retrouvons ici la critique du papier, support des spéculations abstraites et des mathématiques pures. Mais l'originalité de Leupold, nous le répétons, vient de ce que, corollaire des contrariétés matérielles, seul un instrument peut, pour lui, assurer une véritable démonstration. Démontrer est certes une ambition scientifique, mais c'est aussi un moyen de multiplier les supports pour convaincre le lecteur de la réalité des calculs et phénomènes et faciliter leur appréhension et leur utilisation pratique. Nous voyons ci-dessous l'instrument en question tel que Leupold le représente. Il s'agit de deux planches liées ensemble par une charnière. Une planche épaisse avec une glissière indique le sol horizontal, l'autre planche, graduée, le plan incliné. Une tige coulissante

¹⁶ TM1, chapitre 6, §105. Texte original : „Damit man aber nicht der *Demonstration* durch Zirckel und Linien auf dem Pappier allein Glauben beimessen müsse; so folgen etliche *Instrumenta*, dadurch das *Planum inclinatum*, oder Keil, zu untersuchen und die Verhältnis zu *probiren* sind.“

avec des chevilles amovibles permet de choisir la hauteur du plan incliné et sa longueur. Un chariot, pouvant recevoir des poids, est posé sur la planche et relié, via une roue à gorge dépassant légèrement du bord du plan incliné, à un plateau sur lequel l'expérimentateur pose les contrepoids. Ce dernier, avec cet instrument, contrôle toutes les variables utiles, selon Leupold, à la définition de l'effet d'un plan incliné : hauteur et longueur du plan, poids tracté et contrepoids.

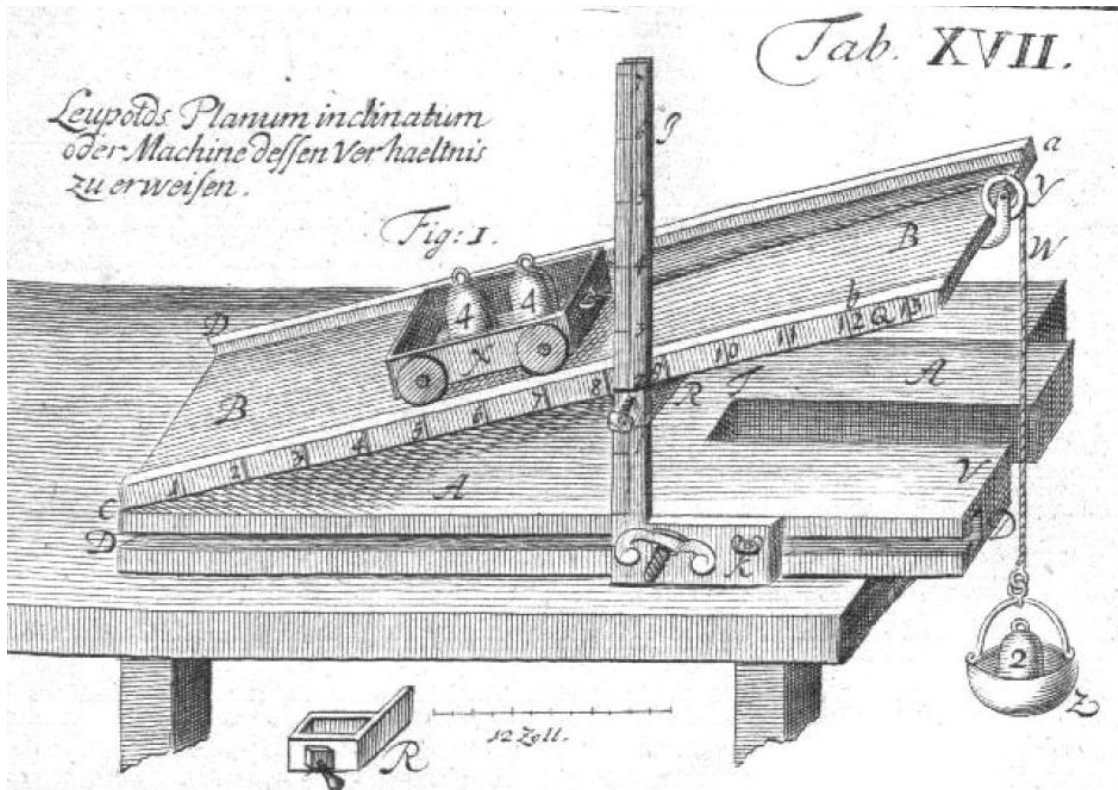


Figure 44 : Machine expérimentale pour mesurer l'efficacité du plan incliné. Figure 1 de la planche 17 de Jacob Leupold, *Theatrum machinarum generale* (Leipzig, 1724)

Cet instrument n'a pas pour seul objectif de proposer au lecteur une démonstration matérielle de son principe, c'est aussi un tremplin pour la conception d'un autre instrument, permettant, lui, de mesurer l'effet d'un coin (voir Figure 45 : p. 395). Il est intéressant de noter qu'ici, comme pour le premier instrument, Leupold compare sa propre invention à celle de Gravesand, un scientifique allemand, connu pour avoir vulgarisé les résultats scientifiques de Newton outre-Rhin. Les instruments de Leupold se conçoivent donc comme des améliorations détaillées d'inventions déjà existantes, dans un but scientifique. Bien entendu, cela lui permet de faire de la publicité pour ses propres

produits, mais c'est aussi un moyen donné au lecteur de choisir le support de ses calculs, de lui faciliter l'accès à la pratique de la conception de machines.

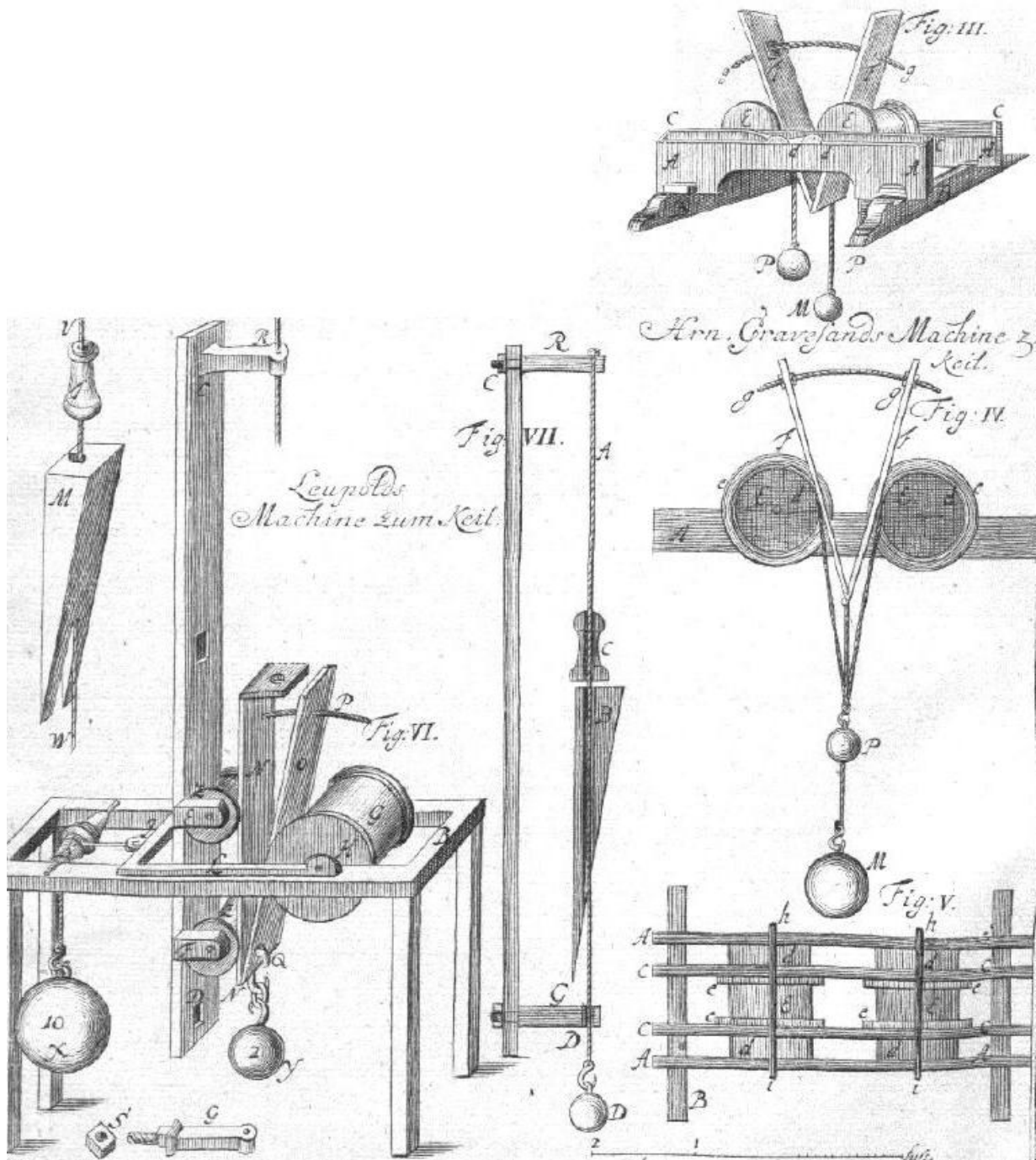


Figure 45 : Comparaison des machines expérimentales de Gravesand et Leupold pour mesurer l'efficacité des coins. Figures 3 à 7 de la planche 17 de Jacob Leupold, *Theatrum machinarum Generale* (Leipzig, 1724)

Du concept à l'objet : fabriquer les mécanismes

Ce n'est pas parce qu'un mécanisme a été compris et son effet calculé et préconçu qu'il est possible à tout un chacun de le construire. C'est notamment le cas des vis et roues dentées de qualité, dont les propriétés sont connues de longue date, qui étaient difficiles et chères à fabriquer. La vis, toujours en bois, était usinée au tour, et le coup de main du tourneur était sans doute plus important que le dessin du pas de vis qu'avait pu réaliser un ingénieur au préalable. Plus difficile encore était l'écrou, très rare pour de petites pièces. Les grosses roues dentées en bois étaient très utilisées, chaque dent étant formée d'une cheville à insérer dans le diamètre de la roue, et par là même, facilement changeables ; et les engrenages à lanternes, malgré la perte d'énergie due aux chocs, étaient préférées aux engrenages à deux roues dentées. Les rares roues dentées en métal, réservées souvent à l'horlogerie, aux dents encore pointues (la forme idéale, épicycloïde, ayant été déterminée mécaniquement par Desargues et mathématiquement par Philippe de la Hire au XVII^e siècle¹⁷), étaient manufacturées à la lime. Dans un cas comme dans l'autre Leupold décrit machines et procédés de fabrication de ces pièces fondamentales pour les machines. Dans le cas de la vis, il se contente de décrire des machines et des procédés, sur le mode de la réduction en art, sans préciser qui en est l'inventeur (ce qu'il fait habituellement). Il est donc difficile de juger de la nouveauté ou non de ces procédés. Tel n'est pas le cas pour les roues dentées, où, après avoir présenté différentes manières de calculer les dents d'une roue, il propose des machines pour faciliter le travail de lime.

« Parce qu'il est très fatigant de non seulement diviser les petites roues, mais aussi de les découper avec la lime, on a inventé une machine, par l'intermédiaire de laquelle on en exécute une, en une heure au plus, au lieu d'un jour autrement, et de façon tout aussi précise. »¹⁸

¹⁷ Cependant, dans son éloge à De La Hire, écrit en 1718, Fontenelle précise que les épicycloïdes sont négligées.

¹⁸ TM1, chapitre 5, §93. Texte original : „Weil es sehr mühsam ist, bei kleinen Rädern solche nicht nur erstlich abzuthellen, sondern auch mit der Feile einzuschneiden, so hat man Maschinen erfunden, vermittelt derer in einer Stunde mehr auszurichten, als sonst in einem Tage, und wird überditz alles viel accurater.“

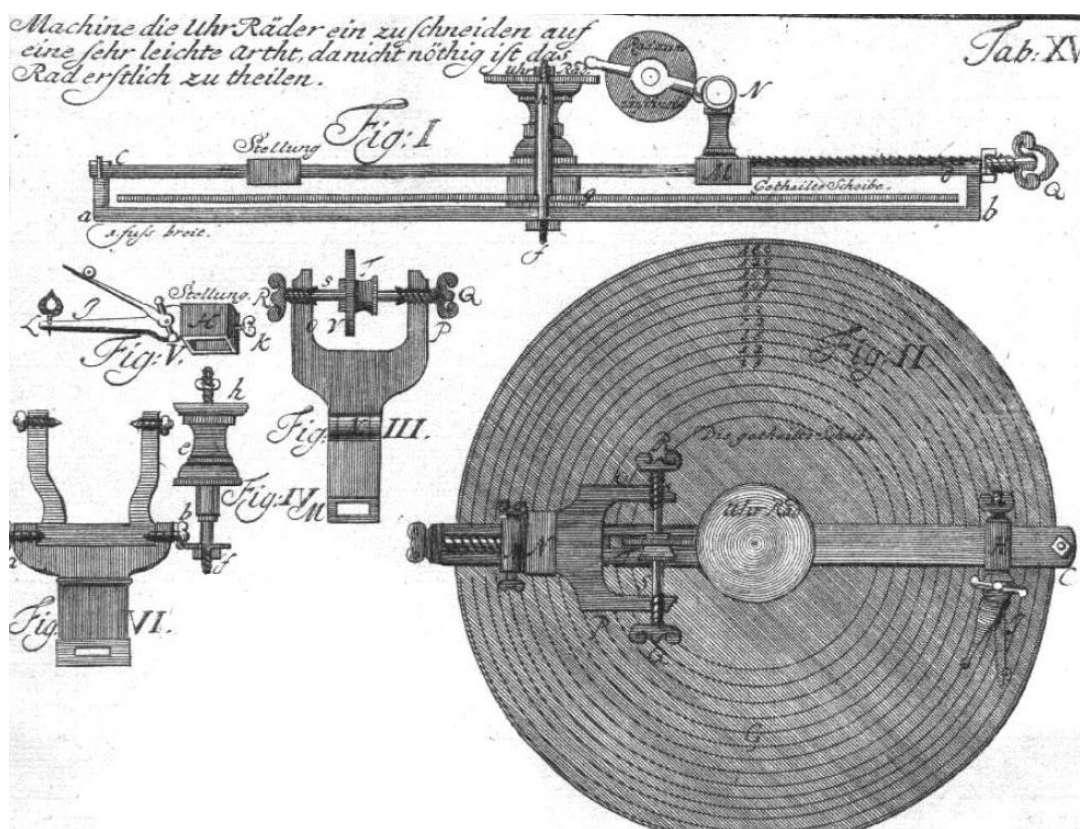


Figure 46 : Machine à tailler les petites roues dentées. Jacob Leupold, *Theatrum machinarum generale* (Leipzig, 1724), planche 15, figures 1 à 6. Les figures suivantes présentent une machine pour les grosses roues dentées

La machine est assez simple. Elle ne remplace pas complètement le coup de main, mais évite la fastidieuse division de la roue. La description qu'en fait Leupold est touffue, et après avoir décrit avec autant de détails que ne le laisse voir les différents éclatés, il explique son fonctionnement et donne son origine. Quatre parties sont à considérer : l'arbre central (KF), sur lequel est posée la roue à tailler/limer, solidaire de la grande roue G ; la lime, portée par le pied MN, et dont le mouvement est précisément réglable ; la roue G elle-même, dont les lignes donnent le périmètre de la roue et des points, qui ne sont pas visibles sur la figure, permettent de la diviser ; un guide H (appelé « *Stellung* », « *position* ») sur la figure. Il suffit ensuite de tailler une première dent en abaissant la lime, puis de faire tourner la roue G de telle manière à ce que la pointe du guide aille jusqu'à un second point, puis tailler la deuxième dent, etc. Seule inconnue dans le texte de Leupold : le profil de la lime, sans doute triangulaire pour des dents triangulaires. Cette sorte de tour ne fonctionne pas encore, comme les premières machines outils de Vaucanson, les tours

de Besson, ou les tours à Guillocher, sur une matrice, mais elle accélère grandement la tâche du fabricant de vis, en supprimant l'étape de la division du cercle en parties égales (cette division n'a besoin d'être faite qu'une seule fois, sur la grande roue G), et en accélérant le limage.

Cette première machine n'est pas de son invention. Il l'emprunte, de ses propres dires, à Nicolas Bion, telle qu'il l'a décrit dans son *Mathematischen Werk-Schule* (« école d'apprentissage [pratique] de mathématiques »), et mentionne une machine réalisée par Willebrand à Augsbourg. Cependant, il prétend l'avoir améliorée. La seconde machine visible sur la planche, similaire, est propre à découper de plus grosses roues dentées, en bois, et subtilise à la lime une petite scie. Que ce soit par l'une ou l'autre machine, de son invention ou d'un autre, la présentation de ces objets par Leupold ne saurait se comprendre uniquement par un objectif publicitaire. Il s'agit aussi de permettre au lecteur de ne pas faire de la lecture des principes mécaniques une lecture vaine et abstraite, mais de l'amener à *essayer* de lui-même d'en fabriquer. Dans cet objectif, il lui faut aussi le préparer à ce que la *statique* ne prévoit ni ne calcule dans les machines, et théoriser, par un mouvement de retour, ce que la pratique des machines lui a appris.

De la pratique à la théorie

Expériences et petites machines-outils permettent à Leupold de proposer au lecteur un moyen matériel d'appréhender et de contrôler *a minima* le monde matériel et ses contrariétés. Pourtant, cette proposition de plusieurs solutions techniques semble l'écarter de son projet technologique. Son ambition est bien de trouver des principes (nous dirions des lois) à tous les comportements qui régissent les machines, et Leupold est trop intelligent pour croire encore que la *statique* épuise le domaine. Plusieurs remarques, parfois des chapitres entiers, et notamment toute la seconde partie (sur les moteurs) de son premier tome, consistent donc, à l'aide des mathématiques, d'expériences, de lectures scientifiques et d'observation, à définir des principes généraux rendant compte de divers phénomènes mécaniques, jusque là rarement pris en compte. Il s'agit, comme le résume Anne-Françoise Garçon à propos de la technologie du XVIII^e siècle « d'extérioriser à des fins de théorisation et d'amélioration, la rationalité contenue

dans » la conception et le fonctionnement des machines¹⁹. Ces principes généraux, il est rare que Leupold cherche à les prouver en scientifique ; ce qui l'intéresse, nous le verrons, c'est de définir des principes ou des astuces facilement applicables et mobilisables, tout comme Bélidor cherchait ses maximes.

Vitesse et puissance, point mort de la science

Vers la fin du chapitre sur les leviers, trois assez longs paragraphes sont entièrement dédiés à ce que Leupold appelle « l'espace ou temps du levier »²⁰. Il s'agit en fait de rendre compte de la vitesse à laquelle agit un levier, et de façon plus générale une machine. Le calcul de la vitesse combiné à celui de la force d'une machine (pour Leupold sa capacité à lever un certain poids), cela revient à poser la question de la puissance (au sens contemporain du terme) d'une machine²¹, même si Leupold ne l'exprime jamais ainsi. D'une certaine façon, et malgré sa fidélité à la *statique* classique, ce que déplore Leupold, c'est l'absence de théorie dynamique cohérente en mécanique. Selon lui, la non prise en compte de ces éléments rend de nombreuses machines inutiles :

« Tout comme pour chaque *opération mécanique*, il est très important de considérer deux choses, à savoir l'énergie et le poids, ou la capacité [« *Vermögen* » que Leupold conçoit comme le rapport de l'énergie déployée au poids élevé], de la même façon qu'il faut faire attention de remarquer le temps et l'espace. Lesquels ne prennent pas en *considération* la plupart de ceux, et particulièrement les *empiristes*, qui inventent de nouvelles *machines* et *instruments* ; c'est pourquoi il arrive souvent, qu'ils donnent à leurs *inventions* bien plus de capacité et d'utilité, que les *machines* classiques jusque là ; ainsi calculent-ils, qu'avec la même énergie ils ont plus de capacité, mais qu'elles aient besoin de plus de temps, soit ils l'oublient, soit ils l'ignorent, jusqu'à présenter *l'effet* une première fois. »²²

¹⁹ Anne-Françoise Garçon, *L'imaginaire et la pensée techniques. Une approche historique, XVIe-XXe siècle*, éd. Classiques Garnier, coll. Histoire des techniques, 2012, p. 180. La phrase se termine en réalité par « dans toute pratique opératoire. »

²⁰ TM1, chapitre 2, titre du §55. Texte original : „Vom Raum, *Spatio* oder Zeit, so beim Hebel zu *observiren*“

²¹ La puissance d'une force se définit par l'énergie (acquise ou perdue) par cette machine dans un temps donné. On l'obtient en faisant le produit scalaire de la force en question avec la vitesse de déplacement du point du mobile (du point d'application de la force pour être précis). Elle s'exprime actuellement en Watt.

²² TM1, chapitre 2, §55. Texte original : „Gleichwie bei jeder *mechanischen Operation* auf zwei Dinge hauptsächlich gesehen wird, nemlich auf die Krafft und Last, oder das Vermögen, so ist darbei eben so sorgfältig zu beobachten, der Raum oder Zeit, welche zwar von denen meisten, absonderlich von denen *Empiricis*, bei *Inventirung* neuer *Machinen* und Instrumenten, nicht in *Consideration* kommet; daher es denn oft geschiebet, dass sie ihren *Inventis* viel mehr Vermögen und Dienste zuschreiben, als denen andern bisher üblichen *Machinen*; denn da rechnen sie zwar, dass sie mit gleicher Krafft wohl zehen und mehr mahl Vermögen haben, aber, dass sie auch zehen und mehr mahl Zeit bei ihrer *Machine* oder *Invention* brauchen, das vergessen sie entweder, oder es ist ihnen unbekannt, bis es der *Effect* erstlich zeigt.“

C'est assez dire combien Leupold doute de l'efficacité des inventions de son temps et justifie de la même façon la nécessité de son projet pédagogique, fondé sur des exemples classiques et une connaissance, sinon approfondie, du moins minimale, des principes généraux de la conception des machines. Ce même oubli de la vitesse d'exécution de la machine et donc de sa puissance, Leupold le répète très régulièrement dans chacun des chapitres du premier tome, tout comme il ne manque pas de faire remarquer, lorsqu'il présente certaines machines, de comparer leur efficacité non seulement en terme de capacité, mais aussi de temps et de vitesse. Cette prise en compte de la vitesse des machines lui permet d'ailleurs plus loin, au début du chapitre huit sur la vis sans fin, de revenir sur un autre mythe de la mécanique :

« Oui, nombre d'entre eux [artisans] pense qu'il est possible d'élever la terre de son emplacement (comme Archimède l'avait annoncé), si seulement elle résidait en un point fixe²³. Seulement il se trouve la plupart du temps que de tels gens [...] ne savent pas que cette façon est liée avec le temps, et qu'un temps infini [...] est requis. »²⁴

Cette insistance régulière du pédagogue sur la vitesse d'exécution des machines, dont nous pourrions multiplier les exemples, pourrait apparaître comme la répétition d'une critique qu'émettait déjà Salomon de Caus dans ses préambules²⁵, si Leupold n'allait plus loin. Savoir qu'une machine qui utilise un effet de levier plus grand aura plus d'espace à parcourir pour faire un même effet n'est, pour lui, pas suffisant. Encore faut-il savoir calculer la vitesse d'exécution de la machine, afin de l'adapter au terrain. Il prend, pour illustrer cette nécessité, plusieurs exemples, dont le plus parlant vient de l'art des mines :

« Il s'accumule dans une mine 40 mesures d'eau chaque minute, il se trouve un de ces ouvrages dedans, qui transmet 60 volumes d'eau d'un seul coup, mais cela en deux minutes. Ainsi chaque minute resteraient 20 volumes restant, et la mine serait rapidement noyée. Il faut donc en savoir le temps, et faire en sorte que sa machine hausse et rejette chaque minute 40 volumes. »²⁶

²³ En réalité, la phrase d'Archimède (« Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le monde ») s'appliquait au levier et non à la vis, comme ici pour Leupold.

²⁴ TM1, chapitre 8, § 119. Texte original : „Ja es meinen ihrer viele die Erde aus ihrem Stand, (wie Archimedes sich verlauten lassen), gehoben zu haben, wann sie selbige nur etwan wo angebracht. Allein es findet sich mehrentheils, dass solche Leute [wissen...] nicht wie und auf was Art es mit der Zeit verbunden, und dass eine unfägliche Zeit [...] erfodert wird.“

²⁵ Salomon de Caus, « Epistre au bening Lecteur », *Les raisons des forces mouvantes*, Francfort, 1615 : « [ils] ont creu, que par une multiplication de roües dentelees, lesdites machines auroient effect, selon leur pensee, & n'ont pas consideré, que ladite multiplication est liee avec le temps »

²⁶ TM1, chapitre 2, § 57. Texte original : „Es sammlete sich in eine Zeche alle Minuten 40 Maass Wasser, es hängete

À cet exemple pris dans le domaine dont il a la charge au conseil de Saxe, s'ajoute un second exemple, portant sur un moulin, à vent ou à eau, comme ceux qu'il a pu largement étudier lors de son voyage en Hollande. Ces multiples exemples, outre le caractère pédagogique qu'ils recouvrent, témoignent aussi de la volonté de toujours situer les connaissances, c'est-à-dire de montrer au lecteur où et pourquoi elles sont utiles. Aucun des principes développés dans les *Theatri* ne sont vains ou donnés pour l'amour de la science. Bien au contraire prennent-ils leur légitimité dans leur utilisation pour la conception de machines bien situées. Le silence sur la querelle des forces vives (quitte à n'utiliser que des savoirs plus anciens), témoigne autant de ce souci permanent d'utilité que ces exemples, parfois géographiquement localisés.

Les savoirs généraux et vagues ne sont donc plus appropriés. Leupold préfère à l'ingéniosité de la combinaison mécanique, des ordres d'idées assez précis dans des machines simples, mais dont on peut maîtriser les différentes caractéristiques, comme cela doit être le cas de la vitesse, ou dit autrement, de l'espace et du temps, que les paragraphes 56 et 57 s'emploient à calculer pour le levier.

Calculer ? Ou plus exactement, observer et mesurer, car nulle part il ne donne un rapport précis entre une force et une vitesse. L'auteur se heurte ici à la limite de ses connaissances, et de celles de son époque, la dynamique n'étant pas encore bien développée. Ainsi explique-t-il que le temps que met le poids en A pour descendre, le poids B met le même temps pour monter du même degré d'angle, et ce temps se mesure, plus qu'il ne se calcule. Là encore, point de démonstrations mathématiques, mais des observations rigoureuses, des mesures précises, et des expériences.

Le frottement : de la science aux machines

Le seizième chapitre du *Theatrum Machinarum Generale*, qui fait la charnière entre l'exposé des principes de la *statique* et le début de l'analyse des moteurs potentiels, est entièrement consacré aux frottements. Leupold n'est pas le premier à s'y intéresser, les effets du frottement ont déjà été l'objet de nombreuses remarques. Cependant, là encore,

einer eine Kunst hinein, die auf einem Hub 60 Maass Wasser, aber solches erst in 2 Minuten ausrichtete, so würde jede Minute 20 Maas übrig bleiben, und in kurzen die Zeche ersauffen. Also muss er zuvorhero die Zeit wissen, und Anstalt machen, dass alle Minuten seine Machine 40 Maass heraus hebet.“

la plupart des livres de mécanique qui mentionne le problème le résolve par des maximes et des formules très générales, comme celle qui veut que les machines les plus simples soient souvent les meilleures (ce que Leupold confirme) ; tout au plus trouvons-nous parfois quelques conseils sur l'usage de lubrifiants, dont certains vont même jusqu'à proposer des recettes. Tout cela, cependant, ne saurait faire une science du frottement.

Tout comme la plupart des mécaniciens avant lui, Leupold conçoit ce qu'il appelle « résistance ou *Friction* » (« *Widerstand oder Friction* »), comme une réalité englobant deux problèmes, que Jean-Pierre Sérís a bien mis en évidence :

« Jusqu'ici [fin XVII^e siècle], la recherche empirique de "machines sans frottement" a laissé entier le problème de la définition de celui-ci. On désigne indifféremment par ce mot deux inconvénients dont les machinistes ont l'expérience : premièrement tous les obstacles intermittents, toutes les irrégularités du mouvement mécanique, causes d'usure inégale et de rupture ; deuxièmement, le freinage, inhérent au déplacement d'un corps sur une surface contre laquelle il est pressé, qui lui peut-être continu et régulier. »²⁷

Au moins sa rigueur oblige-t-elle Leupold à définir le mot, et à bien distinguer les deux problèmes, que son esprit analytique traitera séparément. Il commence pour cela par rappeler les maximes habituelles sur le frottement, à savoir :

« Plus irrégulière est la surface, plus grand sera le frottement -ou résistance- ; et plus grand est le poids, plus fort aussi sera le même frottement, et aussi au contraire, plus léger est le poids et plus lisse est la surface, moins de frottement aura la machine. »²⁸

Par la suite, et comme toujours, Leupold cherche à préciser les choses. Comment calculer l'effet exact du frottement ? Quelles relations le frottement entretient-il avec l'aire de contact, sa matière, sa forme et sa régularité ? Pour répondre à ces questions, Leupold ne part pas de rien, car la science, notamment française, s'est emparée, depuis un quart de siècle du problème du frottement. Dès 1699, en effet, Guillaume Amontons avait réalisé des expériences sur les frottements, dont il rendait compte dans un mémoire à l'académie royale des sciences²⁹.

²⁷ Jean-Pierre SERIS, *Machine et communication*, op. cit., p. 170. Le chapitre III de son livre contient une brève mais précise et passionnante histoire de la science du frottement aux XVII^e et XVIII^e siècles.

²⁸ TM1, chapitre 16, § 215. Texte original : „Je rauher und ungleicher die Fläschen, je grösser die *Friction* oder Widerstand, und je grösser die Last, je stärker auch gleichfalls die *Friction*, und also auch im Gegenteil, je leichter die Last und je glätter die Fläschen, je leichter und auch weniger *Friction* hat die *Machine*.“

²⁹ Guillaume AMONTONS, « De la résistance causée dans les machines tant par les frottements des parties qui les

Leupold semble avoir eu accès au mémoire d'Amontons via un texte de L.C. Sturm (le jeune)³⁰, et non via les *Acta Eruditorum*, source souvent citée ailleurs dans le livre pour ses recensions des travaux de l'académie parisienne³¹. Quoiqu'il en soit, il commence par donner en quelques mots le résultat d'Amontons, à savoir que le frottement n'est fonction que du poids appliqué sur la surface et non de l'aire de contact. Il mentionne ensuite la critique de Sturm³², qui met en doute l'expérience d'Amontons, prétendant que son résultat est faux, et en voulant pour preuve que « si cela était vrai, alors un arbre de moulin, lourd de 1650 livres, devrait se mouvoir aussi facilement sur des essieux de six pouces que sur des essieux de trois pouces » (ce qui n'est pas le cas, manifestement). Leupold tranche alors en faveur d'Amontons, rappelant d'une part que l'expérience du français était faite sur des surfaces planes, et d'autre part, que le rapport essieu/arbre joue comme un levier, expliquant qu'un essieu fin inséré dans un arbre vaut mieux qu'un essieu épais. Cette confrontation des points de vue traverse le reste du chapitre et mène Leupold à de nouveaux résultats.

Le paragraphe suivant est d'abord dédié à la description, avec un peu plus de détails, de l'expérience d'Amontons, et Leupold explique qu'il « a refait ces expériences [lui]-même, et la plupart du temps a trouvé à peine une demi-livre ou une livre de *différence* »³³. Le résultat final (le frottement enlève 1/3 de l'énergie fournie) est donc accepté comme juste. Le fait que Leupold refasse ainsi l'expérience est intéressant à plus d'un titre. Cela témoigne d'abord de son assimilation du nouveau paradigme scientifique. Cela montre ensuite qu'il souscrit au raisonnement et au résultat d'Amontons contre son compatriote. Enfin, nous pouvons aussi voir dans cette répétition, une manière de

composent que les raideurs des cordes qu'on emploie et de la manière de calculer l'une et l'autre », *Histoire et mémoires de l'académie des sciences*, 1732, vol. 1699. Sur l'activité technologique de l'académie des sciences, voir Bernard DELAUNAY, « L'émergence de la technologie... », *op. cit.*. Guillaume Amontons fût un élève de l'académie des sciences de 1699 à sa mort en 1705. Dans ce court laps de temps, il fût un auteur proluxe, proposant une dizaine de mémoires sur la mécanique (ce qui en fait, en proportion, un des dix auteurs les plus proluxes en mémoire de l'académie –information que nous devons à B. Delaunay-).

³⁰ Leonard Christoph STURM, « Observationes circa frictionem Machinarum », in *Miscellanea Berolinensia*, Berlin, J.C. Papenii, 1710, pp. 294-307.

³¹ C'est notamment via les *Acta Eruditorum* que Leupold a accès à un autre mémoire d'Amontons, sur une machine à feu.

³² Leonard Christoph STURM, « Observationes circa frictionem Machinarum », *op. cit.*

³³ TM1, chapitre 19, §217. Texte original : „Ich habe dieses Experiment selbst nachgemachet, und mehrentheils bei vieler Veränderung kaum ein halb oder ganz Pfund *Differenz* gefunden.“

transmettre le savoir, une validation de l'expérience comme outil pédagogique. Leupold se présentant ici comme un modèle à suivre par d'éventuels enseignants.

Le chapitre ne s'arrête pas là. En comparant le frottement d'une surface à celui de l'essieu d'un arbre, Sturm avait soulevé un problème que ne saurait résoudre la théorie du levier, d'après une "spéculation sur le papier". Aussi Leupold commence-t-il un exposé sur le frottement des arbres et des essieux, et propose une nouvelle expérience. Celle-ci est astucieuse : il place sur un arbre de trois pouces, qui n'a pas d'essieux, deux poids égaux liés l'un à l'autre. Le système est à l'équilibre, l'axe ne bouge pas, les poids sont à la même hauteur. Pour faire s'élever ou s'abaisser l'un des poids, il faut donc ajouter à l'autre, $\frac{1}{3}$ du poids. Il réitère l'expérience avec un arbre de six pouces et obtient la même proportion. Il vient donc de prouver que l'aire de contact ne joue pas dans le frottement, y compris sur les cylindres.

Cependant, ce principe demeure général, et comme il l'écrit : « il n'est pas de conclusion ou de principe universel à tirer, que, sur chaque machine, un tiers du poids en plus serait utile contre le frottement. »³⁴. Afin de compléter et d'affiner ce premier résultat sur le frottement, Leupold se propose alors d'observer huit causes différentes : le matériau de la surface, sa régularité, sa rugosité, son épaisseur, sa hauteur, la ligne de mouvement. Il se propose de donner quelques remarques générales sur chacune de ces causes, avec plusieurs dessins, témoignant sans doute de la réalisation de petites expériences³⁵. Certains de ces principes, comme la lubrification nécessaire des matériaux, leur polissage, ou même le choix d'un matériau plus dur relevait sans doute de l'évidence et du savoir-faire pour de nombreux artisans. Leupold ne leur apporte donc pas obligatoirement de nouveaux conseils. En revanche, il inscrit ces phénomènes dans une théorie plus large ; et surtout, il les présente par des expériences, fussent-elles de pensée, qui distinguent chacune des causes. La démarche est double : permettre au pédagogue de montrer les différents effets des différentes causes de frottement par des

³⁴ TM1, chapitre 16, § 218. Texte original : „Allein es ist hierauf kein Universal-Schluss und Satz zu machen, dass man also bei jeder Machine $\frac{1}{3}$ der Last zum Uebergewichte wegen die Friction nöthig hätte.“

³⁵ Notons sur ce point qu'il observe que si la surface est rugueuse, l'aire de contact joue un rôle (puisque'il y a plus de « petits obstacles » sur une aire plus grande. Il note que le frottement est surtout plus fort dans ce cas pour faire passer un corps du repos au mouvement. Une fois en mouvement, l'objet subit moins de frottements semble-t-il. Il approche ici une différence entre un frottement statique, au repos, et frottement dynamique : la force nécessaire pour maintenir un objet en mouvement étant moindre que celle nécessaire pour enclencher ce mouvement.

expériences, et apprendre à remplacer le bon sens par l'observation et une expérimentation permettant la séparation des variables. C'est donc bien par sa démarche que Leupold se démarque du traitement du frottement, plus que par les maigres apports réels qu'il propose.

Une fois les différentes causes définies et plusieurs conseils donnés sur ce point, Leupold entreprend de casser l'aspect général de son exposé et d'appliquer sa méthode aux différentes machines simples. L'objectif est de préciser, pour chacun des mécanismes fondamentaux qui permettent de construire des machines, de comprendre lesquels frottent le plus et surtout comment diminuer le frottement. Roues, poulies, manivelles, levier et balances ; Pour chacune de ces machines simples, Leupold propose un procédé expérimental ou de nouvelles machines, comme pour le plan incliné (c'est notamment le cas pour le levier et les treuils/arbres, §238 à 240). Plusieurs fois, aussi, il s'appuie sur les expériences de L.C. Sturm, les critique, et propose des améliorations. Il lui arrive aussi, à plusieurs endroits, de citer d'autres savants sur d'autres problèmes. Il est intéressant de noter que plusieurs fois, il obtient des résultats conformes à ses principes, à quelques livres près. Tout comme le faisait Robert Boyle dans ses expériences sur le vide, il sélectionne alors l'information, et attribue (avec raison) ces erreurs à des choses qu'il ne peut tout à fait contrôler, comme le manque de lubrification ou la rugosité, quitte à refaire les expériences en lubrifiant et utilisant des surfaces lisses pour diminuer la marge d'erreur.

À la suite de toutes ces expériences et de tous ces calculs, Leupold entreprend d'appliquer ces nouveaux principes à des problèmes concrets. Ainsi choisit-il d'abord le problème du frottement des cloches, puis du déplacement des poids (et donc des véhicules). Mais l'exemple le plus intéressant est sans doute celui des manivelles. En effet, cette réflexion sur le frottement des manivelles est liée à un problème qui avait donné lieu à bien des spéculations dans le dernier quart du XVII^e siècle : le frottement des pompes³⁶. Le mauvais rendement de certaines pompes était attribué à deux problèmes de frottement : celui du piston sur le corps de pompe, que Leupold ne traite pas ici et

³⁶ Jean-Pierre SERIS, *Machine et communication*, op. cit., p. 159-171.

pour lequel il renvoie à Morland³⁷, et celui de la bielle sur les bords supérieurs du corps de pompe. Sur ce point, deux choses sont à considérer : l'angle de frottement et la taille du bras. Leupold cite la solution de Sturm qui visait à trouver un moyen de rendre plus régulier le mouvement de la bielle-manivelle. Le principe, visible sur l'image ci-dessous, est assez simple à comprendre. Là où la bielle était attachée à l'extrémité de la manivelle, se déplaçant de droite à gauche en même temps que de bas en haut, Sturm propose de fixer le bras du piston directement au centre de la manivelle, l'extrémité se mouvant à l'aide d'un rouleau dans un cadre fixe. Le centre de la manivelle, non fixé, se meut donc de bas en haut quand l'extrémité le fait de gauche à droite. L'idée est fondée sur le fait que le roulement induit moins de frottement que la pression d'une surface sur l'autre, et que le frottement est moindre si le bras est perpendiculaire au piston. Il cherche alors à démontrer ce dernier point dans les derniers paragraphes du chapitre.

La démarche de Leupold sur les frottements est symptomatique de toute son œuvre théorique, et sera répétée plusieurs fois en ce qui concerne les moteurs. D'abord Leupold revient sur ce qui est connu. Nous savons sur ce point que la base de son savoir est bien entendu la *statique* et des principes qui remontent parfois à Archimède. Cependant, comme dans le cas du frottement avec Amontons ou Sturm, l'érudit mécanicien peut mobiliser des savoirs beaucoup plus récents.

³⁷ Inventeur britannique du XVII^e siècle. Le chevalier Samuel Morland (1625-1695) est notamment connu pour ses travaux d'hydraulique.

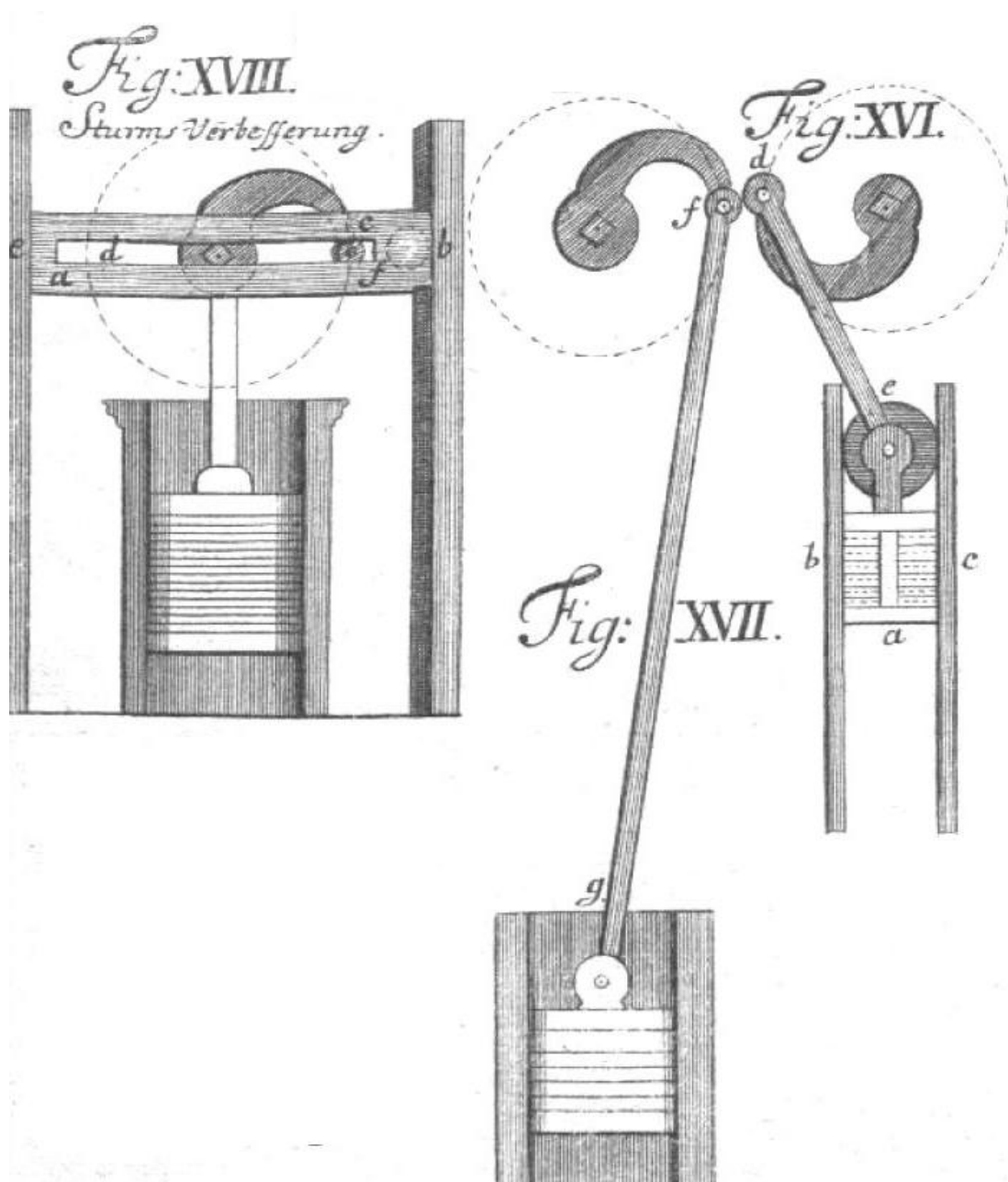


Figure 47 : « Amélioration » de Sturm pour éviter le frottement d'un piston actionné par une bielle-manivelle, dans Jacob Leupold, *Theatrum machinarum generale* (Leipzig, 1724) planche 30, figure 16 à 18

L'expérimentation et la mesure, aussi valide soient-elles, ne sauraient en effet remplacer, dans un esprit cherchant à mettre en place une technologie des machines, une théorie englobant les incidents et les écarts. Ces principes généraux, qui semblaient échapper à la statique, ce ne sont pas les ingénieurs ni les mécaniciens qui les ont recherchés avec le plus d'assiduité, mais bien les scientifiques des académies royales de

Paris et de Berlin, qui développaient alors une logique de science appliquée. Nulle surprise donc à ce que les principales sources du technologue allemand semblent être issues des travaux de ces académies et de différents savants européens. Leupold se saisit donc des résultats alors disponibles, via les recensions dans les *Acta eruditorum* ou par les publications ponctuelles des travaux de savants germaniques, français, et plus rarement britanniques, pour en sortir des principes directement utilisables dans la conception des machines, des « maximes » dirait Bélidor.

Cependant jamais Leupold ne se satisfait des moindres principes, fussent-ils bien établis, et il en donne toujours l'illustration ou la preuve par l'expérience, quitte à inventer lui-même procédés et instruments. C'est sans doute d'ailleurs là que réside sa principale originalité tant par rapport aux théâtres de machines que par rapport aux publications d'ingénieurs français plus tardives. Notons d'ailleurs que ces principes ne sont pas toujours exprimés en termes mathématiques, ils prennent parfois l'aspect de simples listes. Ces principes confirmés, parfois affinés, rarement infirmés, Leupold cherche à les appliquer à quelques mécanismes, instruments ou machines, tant pour exercer le lecteur que pour montrer comment utiliser concrètement les savoirs ainsi acquis. C'est bien la conception des machines qui l'importe donc. Mais avant d'étudier celle-ci plus avant, il nous faut dire quelques mots des « énergies extérieures » (« *ausserlichen Kräfte* »).

Calculer les moteurs, une méthode d'ingénieur

C'est dans cette seconde partie de ce premier tome, tout comme dans le second et le sixième tome que Leupold donne ses résultats les plus originaux. Réalisant plusieurs expériences, reprenant celles dont les comptes-rendus sont parvenus à sa connaissance, ces développements théoriques visent à rendre compte de l'énergie déployée par tel ou tel moteur, tel ou tel moulin. G. W. Lockett a focalisé ses analyses particulièrement sur cette partie, aussi, nous contenterons-nous d'expliquer la démarche de Leupold.

Jusqu'alors, les théâtres de machines et les ouvrages de physique et de mathématiques, à quelques rares exceptions près, ne s'étaient pas penchés sur le calcul de la force produite par tel ou tel torrent ou chute d'eau, ni par le calcul de la force délivrée par tel ou tel moulin. Les choses allaient de soi, et le soin du dimensionnement des moulins en fonction du terrain, allait plus volontiers aux charpentiers qu'aux ingénieurs.

Les machines à feu elles-mêmes, qui allaient donner naissance à la machine à vapeur, n'étaient pas "calculées". Ainsi, c'est tout le domaine des moteurs qui demeurait hors de portée du calcul, et de là, de toute conception *a priori*, de toute définition "technologique", et demeurait l'apanage d'artisans dont le savoir était transmis par imitation et habitude, bref demeurait "prisonnier" du régime pratique de pensée opératoire. Comme l'annonce d'ailleurs le titre (« non seulement [les puissances internes], mais aussi les énergies extérieures »), Leupold entend mettre fin à cet état de fait, et il entreprend alors de construire une théorie générale des énergies.

L'idée est la suivante : puisque pour bien concevoir les machines, il a appris au lecteur à en calculer l'efficacité, à déterminer l'énergie nécessaire, il lui reste à définir en amont, le moyen de calculer, ou au moins de mesurer, l'énergie disponible pour la faire entrer dans le système. Or, comme de telles connaissances n'ont encore jamais été synthétisées, il entreprend de le faire.

La démarche de Leupold n'en demeure pas moins celle d'un ingénieur plutôt que d'un savant. Peu importe finalement les causes profondes, ce dont le lecteur a besoin, c'est d'être capable de mesurer le débit d'un torrent ou la vitesse d'un vent, rapidement et économiquement. Pour cela, Leupold use de tout son génie pour imaginer des instruments permettant de mesurer les énergies disponibles, tout en limitant l'interférence des diverses variables, ou d'astuces pour calculer le rendement d'un moulin (ou sa « capacité »), en fonction de son type, de la forme, du nombre et de la taille de ses pales ; même s'il s'agit d'un calcul approximatif, tant que la marge d'erreur n'est pas trop importante. L'enjeu est double : il s'agit d'une part de trouver les machines et les instruments permettant de réguler et de capter l'énergie pour obtenir un meilleur rendement, mais aussi de pouvoir exprimer toute énergie sous forme d'un contrepoids, permettant d'élever le poids auquel correspond la charge de la machine (et son frottement).

L'exemple de la roue verticale à alimentation par-dessus est particulièrement intéressant, en ce que cette roue fait l'objet, chez Leupold d'une astuce très particulière,

et personnelle, de calcul d'efficacité. G. W. Lockett ne manque d'ailleurs pas de la mentionner et d'expliquer son fonctionnement³⁸.

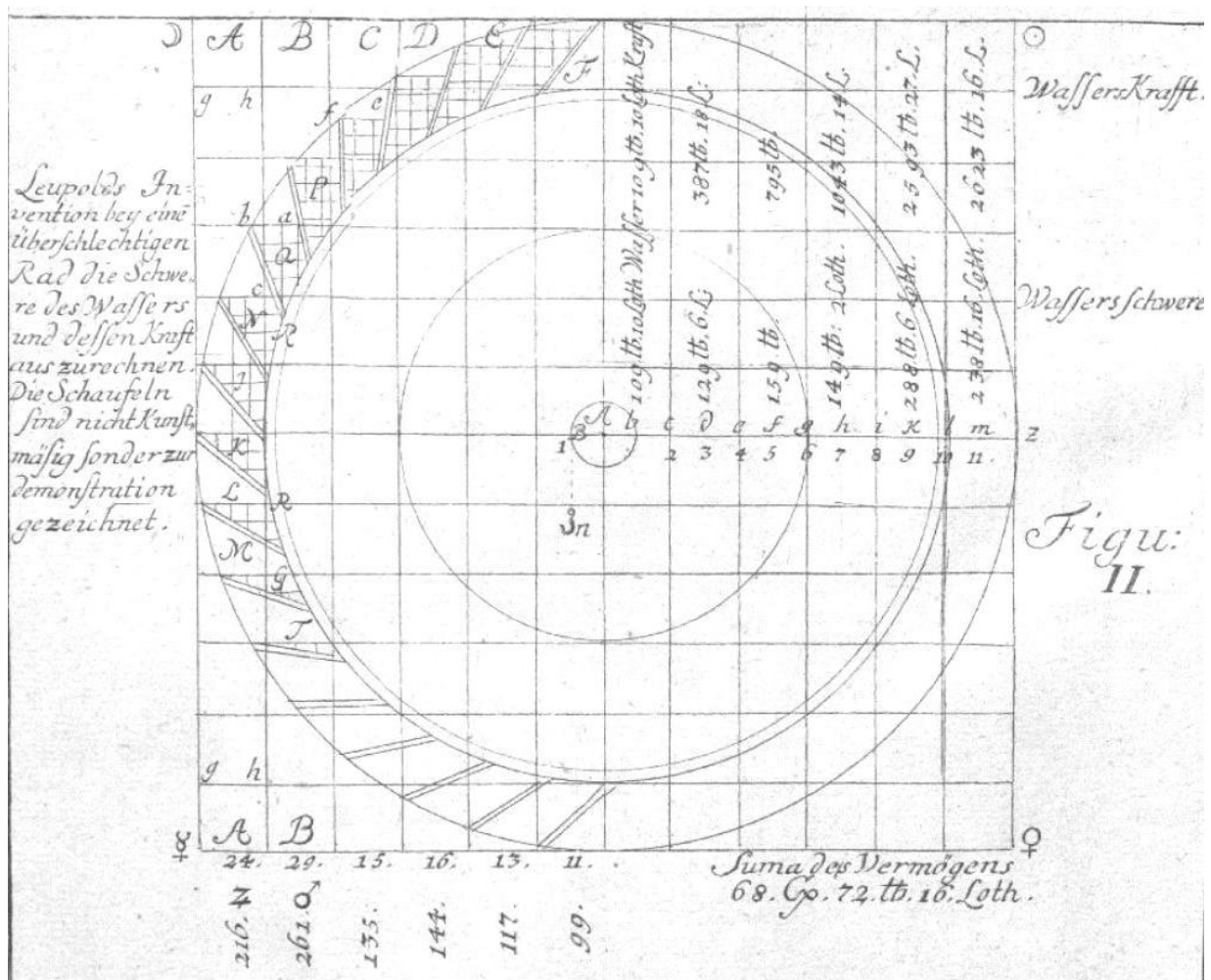


Figure 48 : Schéma pour calculer l'effet d'une roue à eau verticale à alimentation par-dessus dans Jacob Leupold, *Theatrum machinarum generale* (Leipzig, 1724), planche 63, fig 2

La description des différentes roues à eau vient, dans un long chapitre vingt, après de nombreuses précisions sur la mesure de la pression, de la force disponible, du volume d'eau apporté par un canal, et sur la taille des canaux et des tuyaux à adopter, notamment sous forme de questions auxquelles répondre. Ce qui intéresse ici Leupold, ce n'est pas

³⁸ George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold's analysis of the overshot water-wheel », *Proceedings of the ICE - Water and Maritime Engineering*, 12 Janvier 2001, vol. 148, n° 4, pp. 211-218. Article tire de « The analysis of an Overshot Wheel » dans George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. 119-125. Nous partageons ici son analyse et ses conclusions.

la construction de ce matériel (reporté au second tome), c'est de lier à une énergie disponible une façon de mesurer efficacement l'énergie utile, et du coup l'énergie perdue. Dans le cas d'une roue verticale à alimentation par-dessus, et sans chute d'eau, l'énergie cinétique (la vitesse de l'eau) est négligeable. La principale énergie disponible est celle du poids de l'eau, la perte d'énergie vient de l'eau qui se déverse hors des augets, n'entraînant donc pas la roue. Il faut donc mesurer la quantité d'eau qui se trouve dans les augets, calculer le poids de l'eau à partir de là, et donc la force délivrée, en tenant compte de l'effet de levier de la roue.

Au paragraphe 534, Leupold propose une roue de 12 pieds de diamètre et de 8 pouces de large. Il commence par mesurer le volume d'eau présent dans les augets en pouce cube (« *Cubic-Zoll* »). Première remarque intéressante, Leupold n'utilise ici aucun calcul, qu'il serait d'ailleurs bien en peine de réaliser. Fidèle à sa volonté de rendre accessible et directement utilisable ses savoirs mécaniques, Leupold propose une astuce. Au dessin de la roue de profil, il superpose un premier quadrillage de 12 pouces (à l'échelle) de côté, et, pour l'eau dans les augets, redivise le quadrillage en carré de 3 pouces de côté. L'eau étant indiquée comme au repos, à l'horizontal. Il suffit ensuite de compter, sur le dessin, le nombre de petits carrés par colonne de 12 pouces de large. Puis de multiplier par 9 pour obtenir la surface d'eau dans chaque augets (3pouces de côté donne une surface de $3^2=9$ pouces carrés), et de multiplier le tout par la largeur de la roue, de 8 pouces. Par colonne dessinée, Leupold obtient le tableau que nous recopions ci-dessous :

Colonne	A	B	C	D	E	F
Nombre de carrés	24	29	15	16	13	11
Multiplié par 9 (en pouce ²)	216	261	135	144	117	99
Multiplié par 8 (en pouce cube)	1728	2088	1080	1152	936	792

Tableau 21 : Volume d'eau par colonne dans une roue verticale à augets, d'après Jacob Leupold, §534, *Theatrum Machinarum Generale*, 1724

Il s'agit ensuite de calculer à partir de ce volume le poids de l'eau. Pour cela, il ne dispose pas de mesures de la densité de l'eau, mais de tables, réalisées et expliquées dans les paragraphes 420 à 422. Il se réfère à celle qui donne le poids d'un tuyau carré de 12 pouces de haut, en fonction de la section dudit tuyau (§421)³⁹. Prenant le tuyau de cinq pouces de côté, il divise le poids donné dans son tableau par le volume de ce tuyau, et devrait ainsi obtenir $5 \times 5 \times 12 = 300$ pouces³, au lieu de quoi il oublie de mettre au carré les cinq pouces de côté et obtient 60 pouces³. Comme le fait remarquer G.W. Lockett, c'est là faire une erreur d'un facteur 5, qui se répercute plus loin sur le calcul de la force⁴⁰. Mais peu importe ici l'erreur de calcul : observons la démarche de Leupold. En bref, il calcule le poids de l'eau, en utilisant la règle de trois : « 60 pouces³ d'eau pèsent 268 loth (4,2kg)⁴¹, donc 1728 pouces³ font 238 livres et 16 loths (111,5kg) »⁴² ; en réalité 22,3 kg, puisqu'il faut diviser par 300 et non par 60. De même calcule-t-il, sur la planche, le poids de chacune des colonnes mesurées. Pour obtenir la force de chaque colonne d'eau, il faut ensuite multiplier ces résultats par l'effet de levier que réalise la roue. Ici l'importance des colonnes trouve sa justification. Prenant, sur le rayon de la roue, le centre de chaque colonne comme le point d'application du poids de celle-ci, il peut se référer à un calcul d'effet de levier, comme c'était le cas dans le premier chapitre. Il obtient alors la force motrice de la roue à eau en additionnant les résultats de chaque colonne. D'après lui, cela fait 68 quintaux 72 livres et 16 loths, soit 3530 kg environ et en réalité 705 kg (résultat divisé par 5 à cause de l'erreur de calcul). D'après G.W. Lockett, qui utilise le poids d'une colonne d'eau équivalente à celle déversée sur la roue d'après des paragraphes antérieurs, cela correspond à un rendement d'environ 40%, sans compter l'énergie cinématique de l'eau, ni le frottement. Leupold, cependant, ne cherche pas à aller jusqu'à ce point, ne pensant pas encore en terme de rendement, mais simplement de « force utile ».

³⁹ Toutes les tables issues de ses expériences sur l'eau sont encore récapitulées à la fin du tome 4 sur les machines hydrauliques.

⁴⁰ G.W. Lockett montre que cette erreur aurait pu être évitée en utilisant le calcul de la densité de l'eau que Leupold a réalisé au §417, mais qu'il ne le fait pas sans doute à cause de son aversion pour les unités composites.

⁴¹ Le loth est une sous-unité de la livre, en Allemagne, et équivaut, à Leipzig à environ 15 grammes. D'après la table donnée dans George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. viii.

⁴² TM1, chapitre 20, §534. Texte original : „setzet es in die Regula Detri, asl : 60 zoll Wasser, was 1728 zoll, thut 238 Pfund 16 Loth. Und so verfaret auch mit denen andern 5 zahlen.“

Ce passage témoigne bien de la méthode de Leupold et de son intérêt. S'appuyant sur des tables et des outils préalablement définis, elle est immédiatement et rapidement applicable pour toutes les roues à eau à alimentation par-dessus ou du côté, dans lesquelles l'énergie cinétique est négligeable. Il est d'ailleurs possible de l'affiner au besoin, en améliorant la précision de la grille de carrés à compter. En cela, la démarche même de Leupold est d'expliquer au lecteur comment faire une utilisation efficace, c'est-à-dire rapide et avec une marge d'erreur suffisamment faible, des outils qu'il a mis en place, de manière à ce qu'un artisan puisse se servir de son astuce pour concevoir sa machine, ou un fonctionnaire calculer l'effet de celle-ci.

G.W. Lockett pointe, par ailleurs, le fait que la démarche intellectuelle de Leupold, qui consiste à couper en plusieurs parties un problème complexe, à les analyser chacune de leur côté et à additionner le tout, se retrouve encore chez les ingénieurs contemporains. De même, pourrions-nous ajouter l'utilisation de mesures précises et la construction de tables, quand les équations et les principes des phénomènes à traiter nous échappent. La démarche technologique de Leupold emprunte à la science tant les quelques résultats qu'elle lui propose, qu'une méthode de travail, fondée sur l'observation, la mesure et la distinction des différentes variables. G.W. Lockett appelle cette voie choisie par Leupold « *scientific technology* »⁴³, qu'il oppose à la science appliquée et aux mathématiques algébriques de Bélidor. Or, l'objectif avoué de Leupold étant d'aider inventeurs et artisans à concevoir de bonnes machines, nous préférons à une traduction littérale de "technique scientifique", l'expression de "technologie appliquée" qui rend à la fois l'aspect théorique et englobant de la démarche de Leupold, et sa volonté de descendre jusqu'à la conception des objets techniques. C'est justement ce dernier volet que nous souhaiterions préciser dans le chapitre suivant.

⁴³ « 9.3 – Mathematics, and Applied Science versus "Scientific Technology" », dans George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*

Chapitre 12 : Concevoir et gérer les machines.

Le projet initial de Jacob Leupold, rappelons-le, était de faire un guide pour ceux qui n'avaient pas le loisir d'étudier la mécanique, mais qui étaient quotidiennement confrontés à la conception de ces machines. Parallèlement, notre auteur allemand esquissait un projet plus large de mise en place de lieux de formation pour les fonctionnaires chargés de la planification de l'industrie saxonne (principalement minière). Nous avons vu les éléments généraux de sa pédagogie et la façon dont cela l'a amené à développer les principes fondamentaux des théories mécaniques alors en vigueur à cette époque. Il s'agit désormais de comprendre comment ce savoir transmis sert à la fois à donner des règles pour concevoir de nouvelles machines et savoir gérer des anciennes installations. Notons que ces deux activités ne donnent pas lieu à deux discours différents, mais à un seul, comme dans les théâtres de machines antérieurs. Il faut dire que gérer et planifier l'industrie allemande, dans l'esprit de Leupold, consiste à choisir parmi les projets proposés les plus adaptés et à pousser les praticiens à améliorer leur productivité. Si ce n'est pas directement une activité de conception, cela demande de la part des fonctionnaires concernés une connaissance poussée des bonnes pratiques de conception des machines ou dans le calcul de leur effet. C'est pourquoi, après avoir défini ce qu'est une bonne machine, nous avons préféré, à une division des activités, proposer trois points développés par Leupold pour aider à la conception et à la gestion des machines : le calcul de l'effet, les variables à prendre en compte, et le développement d'une culture technique mécanique. Nous finirons ce chapitre sur une tentative de formalisation du raisonnement de conception du saxon.

Qu'est-ce qu'une bonne machine ? L'utilité selon Leupold.

« La *mécanique*, ou art du mouvement, est non seulement une science, car on apprend comment mouvoir quelque chose avec un profit d'énergie ou de temps, mais aussi un art, car on peut inventer, par les lois du mouvement, toutes les

machines et les outils imaginables à toutes les choses de la vie humaine, non tant par nécessité, que par envie et commodité, et diriger l'habileté dans le travail. »⁴⁴

Cette définition explique pourquoi Leupold développe tant l'aspect savant et théorique de la mécanique : parce que l'« art du mouvement » (« *Bewegungs-Kunst* »), comme il désigne la mécanique, est une utilisation des lois du mouvement pour la conception de machines. Notons qu'il entend par "lois du mouvement" non seulement la *statique* appliquée aux machines, mais aussi les différents résultats des expériences des académiciens ou de ses propres essais. Cette définition témoigne aussi de l'aspect directement utilitaire de la mécanique, comme savoir de production. Aspect dont témoigne l'utilisation du mot "art", qui désigne alors indifféremment tous les savoir-faire de production matérielle : l'art du mouvement est de savoir faire des machines, tout comme l'art de la poterie est de savoir faire des objets en terre cuite. L'absence du mot science à cet endroit est d'ailleurs symptomatique, ce qui fait la différence de l'art et de la science n'est pas tant leur structure respective (qui serait concrète pour l'un, abstraite pour l'autre), que leur objet (faire pour l'un, connaître pour l'autre)⁴⁵.

La fin de la citation permet par ailleurs de préciser que les machines sont un moyen pour réaliser un programme industriel (« diriger l'habileté dans le travail »), qui s'appuie sur une « science des arts et de produits de l'art »⁴⁶. Comme le dit très bien Leupold, l'invention d'une nouvelle machine ne vient pas palier à une nécessité, répondre à un besoin, mais vient permettre un profit, un gain de temps, d'énergie ou de confort ; ce qui, dans le vocabulaire de l'époque, se désigne par le terme d'utilité. En résumé, la mécanique est un art de l'économie, au sens ancien et plein du terme, et une bonne machine, est une machine utile.

L'utilité d'une machine est donc sa raison d'être. C'est pourquoi, Leupold ne manque jamais, une fois donnée la description générale de telle ou telle machine qu'il insère dans ses ouvrages (y compris moteurs et machines simples), et avant de calculer son effet ou

⁴⁴ TM1, chapitre 1. Texte original : „Die *Mechanic* oder Bewegungs-Kunst ist nicht nur eine Wissenschaftt, die da lehret, mit Wortheil der Krafft oder der Zeit, etwas zu bewegen ; sondern auch eine Kunst, da man nach denen Gesetzen der Bewegung allerlei erdenckliche Maschinen und Werckzeuge zu allen Berrichtungen im menschlichen Leben, nicht so wohl zur Nothdurfft, als zur Bequemlichkeit und Lust, erfinden, und geschickt ins Werck richten kan.“

⁴⁵ Cette distinction est opérée par Diderot dans l'article « Art » de Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *L'Encyclopédie*, op. cit.

⁴⁶ Expression de Christian Wolff pour désigner la technologie, voir note 34, p. 325.

d'en expliquer le fonctionnement, de donner son utilité. Ne nous méprenons pas sur le sens du mot : définir l'utilité, ce n'est pas expliquer à quoi sert la machine ou ce qu'elle fait concrètement, mais c'est montrer ce qu'elle apporte comme avantage par rapport à une autre machine ou à la même activité par la main de l'homme :

« Une machine ou outil est une œuvre de l'art (« *künstliche Werck* »), par laquelle on atteindrait un mouvement avantageux, avec une économie soit de temps, soit d'énergie, ou qui ne serait pas possible [à faire]. »⁴⁷

Cette définition de la machine comme mouvement avantageux n'est pas si nouvelle, mais rappelée ici de façon si univoque, elle reflète combien l'utilité, entendue comme avantage d'une machine, est un concept qui domine toute pensée de la conception des machines depuis la fin du XVII^e siècle⁴⁸. Les machines n'ont donc de valeur que si elles permettent de réaliser des choses impossibles sans elles et/ou de faire ces choses avec une économie de temps et/ou d'énergie. Autre condition, que Leupold pose plus loin : la nécessité de trouver le fondement de ce mouvement dans la science mécanique. En tant qu'œuvre de l'art, la machine doit justifier de son avantage en faisant référence aux différentes lois du mouvement.

Toute chose qui obéit à ces deux règles : avantage procuré par le mouvement et respect de la science mécanique est donc une machine. Leupold n'accorde d'ailleurs aucune importance à la taille de cette chose. Ainsi, certains outils ou petits instruments sont rangés parmi les machines, comme « les tenailles du forgeron, les ciseaux du tailleur et les coins du bucheron », qui obéissent tous à la loi du levier. En revanche, les instruments de mesure et de géométrie ne rentrent pas dans la catégorie des machines, car le « compas, le cordeau, le transporteur de distance, l'équerre... » n'ont pas leur fondement dans la mécanique mais dans la géométrie, et ne procurent pas d'utilité au sens de Leupold⁴⁹.

⁴⁷ TM1, chapitre 1, §3. Texte original : „Eine Machine oder Rüstzeug ist ein künstliche Werck, dadurch man zu einer vortheilhafften Bewegung gelangen, und entweder mit Erspahrung der Zeit oder Krafft etwas bewegen kann, so sonst nicht möglich wäre.“

⁴⁸ Voir *infra* « L'utilité des modèles et du catalogue », p. 131 et « Utilité des machines », p. 184.

⁴⁹ TM1, chapitre 1, §3. Texte original : „Eine Machine soll von einem Instrument darrinnen unterschieden sein, dass mit der Machine eine vortheilhaffte mechanische Bewegung zu machen ist, so aber durch ein Instrument nicht geschen kann, daher nicht nur [...] grosse Wercke; sondern auch des Schmidts Zange, des Schneiders Scheere, des Holzbackers Art und Keil, und andere dergleichen Dinge, unter Maschinen zu zehlen sind, weil dadurch vortheilhaffte Bewegungen, die in der Mechanic ihr Fundament haben, zu erlangen sind. Hingegen ein Instrument kann sein bei der

Malgré cette très large définition, toutes les machines que présente Leupold ne répondent pas tout à fait à ces critères, loin s'en faut. La légende que Leupold place en regard de la machine de Ramelli présentée plus haut (Figure 40 : p. 371) précise qu'elle ne serait pas praticable, donc inutile. En fait, Leupold présente, à titre d'exemple, et parce que souvent des inventeurs proposent encore des machines similaires, des dispositifs peu pratiques, ou ne présentant pas réellement de gain de temps ou d'énergie ; prouvant ses affirmations par la référence à la science mécanique justement. Cela nous pousse à affiner notre compréhension de l'utilité selon Leupold, notion centrale et légitimant son discours sur la mécanique, comme de nombreux autres depuis la fin du XVII^e siècle.

L'exemple des volants d'inertie, que Leupold appelle « roue à élan » (« *Schwung-Räder* ») est particulièrement intéressant, en ce qu'il place en contrepoint de l'utilité qu'il leur prête, à la fin de son explication, les mauvais usages qui en ont été faits jusque là :

« §163. Le volant d'inertie ne s'utilise avec avantage que monté sur les *machines* : (1) où l'énergie ne peut pas être toujours la même [...] (2) où la capacité ne peut être toujours la même [...] (3) où la *machine* travaille de façon inégale, alors qu'elle doit aller vite [...]

[Leupold décrit le volant en détail et en explique le principe] Il suit de tout cela que tout volant qui va lentement, n'est utile en rien et ne fait pas *effet*, ainsi sont ceux qu'on trouve en grand nombre dans le *théâtre de machines de Böckler* [...] »⁵⁰

Ces deux citations, à quelques lignes d'écart, illustrent bien la façon dont Leupold explique l'utilité d'une machine, l'avantage qu'elle procure. Celui-ci est toujours mis en contexte, et souvent soumis à des conditions : le volant d'inertie n'est utile que pour des machines aux mouvements non continus, et à condition qu'il soit rapide. Monté sur d'autres machines, il est au mieux inutile, et représente une dépense superflue, au pire gênant, car son poids et le frottement qu'il génère freineraient la machine. Nous retrouvons des remarques de contextualisation et de condition pour presque chaque machine. Souvent, Leupold compare une utilité théorique à une utilité réelle, bien

Geometrie : ein Zirckel, Linial, Transporteur, Winkelmaass, Scheiben-Instrument, und dergleichen unzehlige, so wohl bei dieser, als allen andern Wissenschaften und Künsten."

⁵⁰ TM1, chapitre 10, §163 et 164. Texte original : Der Gebrauch des Schwung-Rades ist nur bei denjenigen *Machinen* mit Nutzen anzubringen : (1) wo die Krafft nicht allezeit einerlei sein darff [...] (2) oder da das Vermögen der *Machinen* nicht einerlei sein darff [...] (3) wo die *Machine* ungleich arbeitet und doch schnell gehen muss [...] / also folget hingegen : alle Schwung-Räder, die langsam umgehen, sind nichts Nütze, und ohne *Effect* thue, dergleichen findet man sehr viel in des *Böckleri Teatro Machinarum*.

moindre, qui tient compte des frottements et du poids de la machine, c'est notamment, outre le temps qui n'est pas compté, la critique qu'il fait de la machine de Ramelli que nous avons présentée plus haut (Figure 40 : p. 371). L'usage et la qualité de la machine définissent donc l'avantage réel qu'il est possible d'en tirer : son utilité. Cela témoigne aussi d'une vision élargie des lois du mouvement, qui comprend non seulement la statique, mais aussi les considérations sur la vitesse et le frottement que Leupold s'efforce de préciser.

De trop nombreuses machines, selon Leupold, ne prennent pas en compte ces problèmes, et souvent, comme nous l'avons vu pour les mouvements perpétuels, Leupold raille les dépenses inutiles de tel ou tel inventeur, qui ne suivait pas quelques principes fondamentaux de la conception des machines. Ces moqueries nous permettent de comprendre pourquoi Leupold insiste sur la nécessité d'obéir à la science mécanique : c'est que réaliser trop de machines mal pensées conduit à de trop grandes dépenses. Une bonne connaissance de la mécanique devrait éviter ces dépenses. La machine utile procure donc non seulement un avantage mécanique (temps ou énergie), mais aussi, de ce fait, un avantage économique, ce qui justifie d'ailleurs son existence. De nombreuses remarques témoignent d'ailleurs que le coût d'une machine et/ou de son moteur, interviennent comme critères de choix et de sélection, toujours en fonction du contexte. Ainsi, pour un même profit mécanique, la machine la moins coûteuse, à la fabrication comme à l'entretien, sera toujours préférée. Leupold ne formalise jamais tout à fait cette position, mais très nombreuses sont les remarques comparant diverses machines qui permettent de témoigner de sa position, comme par exemple telle grue du cinquième tome, qui « coûte environ la moitié de la précédente, et est beaucoup plus fiable »⁵¹.

D'une certaine façon, ce qui ressort de la vision très nuancée de l'utilité dans l'œuvre de Leupold, c'est qu'aucune machine n'est utile en elle-même, elle n'est utile que si elle est bien faite, c'est-à-dire conçue d'après des règles claires, un principe connu et auparavant expérimenté, pour un coût raisonnable. Le rapport à l'économie ne se fait pas

⁵¹ TM5, chapitre 7, §197. Texte original : „Dieser Kran brauchet kaum die halben Kosten, und ist viel beständiger“. Leupold compare en fait une grue posée sur un pivot, à cette grue dont seul le bras pivote (donc moins chère pour le même effet). Il ne précise pas cependant que la seconde machine a un angle de braquage beaucoup plus restreint, quand la première peut tourner à 360°.

sous l'angle de l'organisation du travail, mais de la normalisation des savoirs techniques. L'auteur a d'ailleurs parfaitement conscience qu'il ne présente pas des machines révolutionnaires, ce n'est pas ce qui l'intéresse. Son objectif n'est pas tant de montrer des machines nouvelles qu'une nouvelle façon de les concevoir, c'est pourquoi il insiste beaucoup sur ce premier volume dont il répète l'essentiel au début de presque chaque tome. Une machine doit être réalisée avec art et connaissance, selon les principes fondamentaux de la mécanique, de telle façon à ce que son effet soit quantifié, et que sa construction obéisse à des normes définies.

Calculer la machine sur le papier, l'exemple de la pompe de Freiberg

Le premier tome se ferme sur un chapitre tout à fait original, dans toute l'œuvre de Leupold, et dans toute la tradition des théâtres de machines, qui s'intitule « Calcul d'une création de l'art (= machine) » (« *Ausrechnung eines Kunst-Zeuges* »⁵²). Il s'agit de calculer une machine, c'est-à-dire à la fois l'énergie que délivre son moteur (puissance motrice), et le travail total qu'elle doit effectuer, frottement compris (puissance résistante), exprimés sous forme d'une charge à élever. Pour que la machine soit en état de fonctionner, sa puissance motrice doit être supérieure à sa puissance résistante⁵³.

Le passage est d'autant plus intéressant que Leupold agit ici dans le cadre de son activité professionnelle, qu'il met donc en scène. En effet, le calcul est celui d'un système de pompage dans une mine de Freiberg (ville célèbre pour avoir accueilli la première école d'ingénieurs des mines). Par ailleurs, Leupold ne fait pas ce calcul sur place, mais sur le papier, d'après les plans fournis par le *Berghauptmann* (directeur de la mine) von Tettau. Bien qu'incomplets, « ne décrivant pas tout du terrain », ces derniers lui sont suffisants pour en connaître la fatigue (usure), les dimensions, et besoins nécessaires au

⁵² Plus loin Leupold précise toutefois que « *Kunst* », pour les mineurs, désigne une machine qui permet d'élever les eaux, à partir d'une énergie extérieure. Cf. TM1, chapitre 24, §612 : „Eine Kunste bei Bergwercken ist eine *Machine*, damit mittelst einer äusserlichen Krafft, [...] die Wasser aus der Grube gehoben werden.“

⁵³ Le raisonnement général du calcul de Leupold, issu de sa pratique d'inspecteur des mines, est très similaire à celui que les experts de l'Académie royale des sciences de Paris mettaient en place lors d'expertises de machines. Voir sur ce point Bernard DELAUNAY, « Calculer une machine au XVIIIe siècle », *e-Phaïstos*, 2013, II, n° 1.

calcul⁵⁴. Il s'agit, nous dit Leupold, d'une pompe à bielle-manivelle, dont l'image ci-dessous donne une idée, sans être toutefois une fidèle représentation.

Les différents noms donnés aux machines élévatoires dans le langage de la Mine occupent les deux paragraphes suivants, et donnent, selon le type, la plus grande hauteur à laquelle peut se monter l'eau en fonction des types de machines. Ayant expliqué de quel type est la machine qu'il doit décrire, il précise les différentes formes de cylindres possibles (voir. fig 2 et 3 sur la Figure 49 : p. 421) et enfin, il décrit la machine, qui utilise vraisemblablement des pompes du type de la fig. 2.

Le principe est assez simple. La roue à eau par-dessus entraîne une manivelle de chaque côté. À chaque manivelle est liée une grande bielle qui descend jusqu'au fond (Leupold explique que la place de la page ne lui permet pas de tout représenter). À chacune des bielles sont liés quatre pistons de pompes. Chaque bielle étant le piston d'une dernière pompe, c'est donc dix pompes qu'actionne cette machine. Des pompes, qui, grâce à un système de soupape, refoulent l'eau jusqu'à la surface. « Maintenant suit le comportement de cette machine, comment je dois le décrire, et comment je dois y fonder mon calcul. »⁵⁵. G.W. Lockett a lui-même repris pas après pas le calcul de cette machine, sans que nous n'y voyons d'erreur⁵⁶, aussi, afin de ne pas dédoubler les écrits, nous résumerons simplement la démarche calculatoire de Leupold, sans en citer les larges passages.

⁵⁴ TM1, chapitre 24, §611. Texte original : „Und obschon nicht alles aus den Grunde wird können beschrieben und berechnet werden, so wird dennoch daraus zu ersehen sein, was es vor Mühe, Weitläufigkeit und *Requisita* erfordert, eine solche Kunst zu berechnen.“

⁵⁵ TM1, chapitre 24, §615. Texte original : „Nun folget die Verhältnis dieser Kunst, wie ich solche überkommen, und meine Berechnung darauf gründen müssen.“

⁵⁶ George Wilfred LOCKETT, « Jacob Leupold as hydraulic engineer », *op. cit.*, p. 137-145.

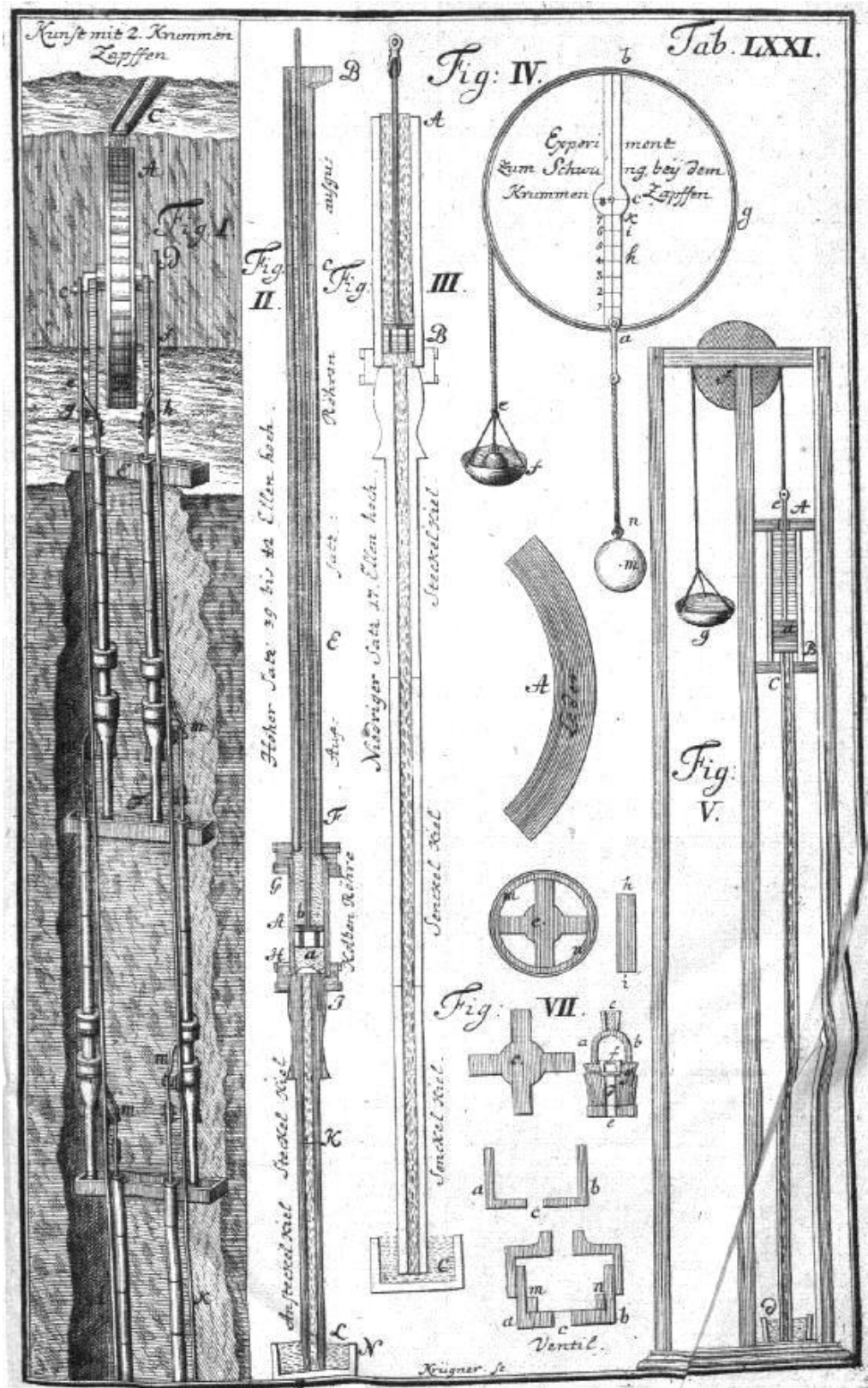


Figure 49 : Machine d'exhaure dans Jacob Leupold, *Theatrum machinarum generale* (Leipzig, 1724), planche 71.

En premier lieu, celui-ci donne quelques caractéristiques, probablement celles fournies par von Tettau, sur la machine : diamètre de la roue (24coudées, environ 12m), de l'axe et de la manivelle, vitesse de rotation de la roue (338 tours par heure, soit un peu plus de 5 tours par minute), force du courant, longueur et détail des pièces d'une unité de pompage, masse d'eau élevée par chaque unité à chaque pompage, profondeur du puits (195coudée, un peu moins de 100m⁵⁷). Il précise enfin qu'un homme suffit à mouvoir la roue à vide, mais qu'il faut 5 à 6 hommes pour faire mouvoir les 10 unités de pompage. De là, en prenant soin de préciser les matières utilisées, il calcule le poids de presque chacune des pièces de la machine, puis il calcule l'eau déjà contenue dans les cylindres (à plein). Puis, rappelant que les bielles et pistons s'équilibrent de chaque côté du vilebrequin, donc qu'ils ne sont pas à compter dans le poids à élever (la charge), il estime finalement ce poids à 133 quintaux (plus de 7tonnes). Il mentionne ensuite le frottement des pistons et la pression de l'eau sur les soupapes, qu'il néglige dans un premier temps.

Leupold cherche ensuite à calculer la vitesse et la force déployées par la roue à eau, mais il manque d'informations sur la déclivité et la taille des augets. Il fait alors l'hypothèse d'un canal horizontal (donc une eau moins rapide et moins forte), et utilise une méthode déjà expliquée par ailleurs sur la vitesse. Il obtient un résultat insatisfaisant, car la vitesse du courant de l'alimentation de la roue est inférieure de huit unités à la vitesse de la périphérie de la roue : la roue tourne plus vite qu'elle n'est alimentée. Il faut donc une chute. Il suppose cependant que la force du courant est de 5 quintaux⁵⁸, qui permettent, avec une proportion de 16 pour 1 par rapport à la manivelle, de soulever 80 quintaux. Là encore, c'est insuffisant, puisqu'il faut élever 133 quintaux. Il faudrait –sans frottement– que le courant ait une force de 8 quintaux. Le surplus de force devrait alors venir de « l'élan » (« *Schwung* ») de la roue, c'est-à-dire de son inertie. Or, il n'avait pas encore mesuré la force que peut procurer l'inertie d'une roue. Ainsi propose-t-il une nouvelle expérience, dont l'instrument est schématisé sur la figure 4 de la planche 71 (Figure 49 : p. 421).

⁵⁷ Ce qui en fait déjà un puits de taille conséquente pour l'époque.

⁵⁸ La suite nous permet de comprendre implicitement qu'il estime qu'un homme a une force d'un quintal et il sait qu'il faut 5 à 6 hommes pour mouvoir la roue.

Le principe repose sur son calcul de l'effet de la manivelle, dont il a montré l'inégalité en fonction de la position de la manivelle par rapport à son axe. À l'horizontal, la manivelle est plus "forte"⁵⁹, mais avec le poids, elle acquiert un "élan" (« *impetus* »⁶⁰) qui pourrait être mesuré en déterminant le poids nécessaire à placer en périphérie de la roue (f sur l'image), pour amener le poids m, suspendu à l'extrémité d'un rayon, de la verticale à l'horizontale. La différence correspond à la force de l'élan. De plusieurs mesures, il déduit une proportion générale, et de là estime que ses 5 quintaux ne soulèveraient pas 80, mais 95 quintaux. Il en déduit que la force n'étant pas suffisante, soit l'élan est plus important que l'expérience le laisse penser, soit, et c'est ce qu'il pense, l'eau court plus rapidement qu'il n'est habituel à l'horizontal.

Ayant calculé la force de la roue, en ayant estimé des données qui lui manquait, il se propose de calculer le frottement de la machine. Suite à son chapitre seize, il estime le coefficient de frottement à 1/3, bien qu'il soit conscient que son calcul sera faussé par le fait qu'il ne connaît pas le vrai poids de la roue et le fait que ce coefficient peut changer en fonction des matériaux (cela réclamerait des expériences que, selon lui, seuls les princes pourraient financer). Toujours est-il qu'il liste les différentes données nécessaires à son calcul du frottement : poids de la roue et de l'eau, rayon de la roue, diamètre de l'axe, le poids sur la roue et le frottement des unités de pompes, le frottement des pistons, la pression de l'eau due à la taille des soupapes. Là encore, il estime les données manquantes, les additionne à celles qu'il connaît et ajoute encore un calcul sur la résistance du passage de l'eau d'un tuyau à un plus petit, à l'aide d'une seconde expérience (voir fig. 5 sur Figure 49 : p. 421). Au final, il aboutit au fait qu'il faut ajouter 5 à 6 quintaux de plus à la charge supportée par la roue.

Il est intéressant de noter que Leupold manquait d'informations d'une part, et que certaines ne lui ont servi que pour vérifier ses calculs, et révéler une machine qui ne devrait pas fonctionner, sauf à prendre en compte des informations qu'il n'a pas, comme la déclivité du canal. Ce manque d'informations nous montre, en creux, l'incapacité du

⁵⁹ C'est précisément pour cette raison qu'il proposait de toujours placer deux personnes pour mouvoir une manivelle, de telle manière à ce que la manivelle ait un mouvement plus égal et que l'un poussant quand l'autre tire, les efforts se soutiennent mutuellement.

⁶⁰ Cette mention ne fait ici nullement référence à la théorie de l'*impetus*, Leupold ne la mentionnant jamais.

directeur de la mine à lui fournir les bonnes informations, aussi fait-il suivre son calcul d'une liste d'informations nécessaires pour calculer la force du courant, celle de la roue, la charge de la machine et son frottement, de façon correcte. Plus intéressant encore, ces lacunes dans le calcul témoignent d'une autre utilisation possible du calcul, non à des fins d'expertises, mais à des fins de conception. S'il s'est révélé incapable de calculer la force exacte délivrée par la roue, par manque d'informations, il connaissait la force minimale nécessaire à la machine pour fonctionner d'une part, et a su proposer les lieux où un surplus de force pouvait être puisé (inertie et surtout chute et vitesse du courant). N'est-ce pas là, dans ses conseils et ses calculs qu'il se révèle le plus apte à concevoir des améliorations pour les machines minières existantes ou à fournir des outils efficaces pour aider les artisans dans la conception de leurs nouvelles machines ? N'y a-t-il pas là des règles à suivre pour concevoir ?

« Plusieurs règles pour la mécanique »

Souvent Leupold accompagne les descriptions de ses machines de plusieurs maximes, de conseils liés directement à la construction. Sur chacun de ces points, l'objectif des maximes est d'attirer l'attention du lecteur sur des points particuliers auxquels faire attention sur tel ou tel mécanisme pour assurer une bonne efficacité⁶¹. En plus de ces multiples conseils disséminés dans l'ouvrage, Leupold élargit ces conseils à la machine dans son entier, dans les deux derniers paragraphes de son premier tome, auxquels il faut ajouter les derniers chapitres, souvent à valeur récapitulative, du tome 4 sur les machines hydrauliques et du tome 5 sur les machines élévatoires. Nous nous concentrerons cependant sur ces deux listes du premier tome, titrées « plusieurs règles pour la *mécanique* », car elles témoignent de façon plus claire et plus convaincante de la démarche de Leupold.

La première liste répertorie les différents paramètres à prendre en compte pour calculer (« *ausrechnen* ») une pompe du type de celle Freiberg ; la seconde pour « l'établissement ou *invention* d'une *machine* »⁶². Notons ici que le synonyme choisi pour le

⁶¹ Voir *infra* « Quelques « maximes » », p. 378.

⁶² TM1, §631 et 632, „Etliche Regeln zur *Mechanic*“. Texte original : „§631. Was vor Stücke vernehmlich zu wissen nöthig sein, wenn eine krumme Zapfen-Kunst mit einem überschlächtigen Rad soll ausgerechnet werden“ et „§632. Bei

mot latin (ou français ?) germanisé « *Inventirung* » n'est pas « *Erfindung* » (découverte, invention), comme habituellement, mais « *Errichtung* » (construction, élévation, fondation, établissement). Nous ne sommes pas ici dans l'innovation, mais dans la production efficace. Leupold ne cherche pas à faire du lecteur un inventeur, comme dans les précédents théâtres de machines, mais à lui permettre de bien réaliser les machines qu'on lui demande, à concevoir les machines en respectant quelques règles.

Quelles sont ces règles ? Et comment les expose-t-il ? Ces deux listes témoignent de la vision de la conception de machines chez Leupold méritent toute notre attention.

Analysons la première des deux listes, concernant la pompe à manivelle activée par une roue à eau par dessus. Les deux premières séries de questions concernent l'énergie hydraulique disponible et l'énergie rendue par la roue à eau. Afin de bien calculer l'une comme l'autre, Leupold donne les mesures à réaliser : dimensions du canal, vitesse de l'eau, déclivité, hauteur et force de chute d'une part ; diamètres de la roue et de la manivelle, vitesse de remplissage, capacité mécanique d'autre part. Pour l'une comme pour l'autre liste, Leupold avait donné des astuces de calcul ou décrit les procédés et les instruments nécessaires à réaliser ces mesures et calculs, et expliqué comment en déduire, de là, l'énergie disponible et l'énergie utile. De même la suite de la liste rappelle les paramètres à prendre en compte pour calculer le poids de l'eau à élever et le frottement de la machine. Une simple soustraction permettra donc au concepteur de connaître le rendement de sa machine et de savoir si les dimensions prévues sont bonnes pour que la machine soit efficace, tout comme elle permettra à l'expert de juger de l'efficacité de la machine.

Cette liste n'est donc qu'un récapitulatif des informations de base à connaître pour une pompe actionnée par une bielle-manivelle et une roue. Si nous comparons cette méthode à celle de Redtenbacher⁶³, elle correspondrait en parti à l'étape du dialogue avec le commanditaire, sauf que là, les mesures sont effectuées par le concepteur

Errichtung oder *Inventirung* einer *Machine* hat man zu sehen.“

⁶³ Redtenbacher est un mathématicien allemand, professeur de mécanique à Karlsruhe. Il a enseigné la mécanique à Franz Reuleaux. Il est connu pour avoir développé une des premières méthodes « réglée » de conception de machines. Voir *infra* « La conception réglée allemande selon la théorie C/K », p. 444.

lui-même ; et devrait, pour l'autre partie, venir s'insérer après la conception de la machine, en vérification du projet, avant sa concrétisation et sa mise au point.

En revanche, rien ne nous est dit ici de la façon même de concevoir la machine, d'imaginer les combinaisons, voire de dimensionner ses pièces (sa "construction" dirait-on au XIX^e siècle). La liste suivante nous éclaire sur ce processus central de conception, en distinguant deux parties : le choix de l'énergie et l'organisation de la machine elle-même.

Deux des données majeures de la construction de machines sont l'énergie utilisée et son moteur. Leupold a bien conscience que cette partie, longtemps laissée dans l'ombre par les théoriciens et les anciens théâtres de machines, est pourtant un point majeur de la conception de machines, dont doivent se saisir savants et ingénieurs. Le moteur est en effet ce qui permet à la machine de faire son effet, et en calculant l'énergie entrante et l'énergie sortante, il est permis de rendre compte d'un rendement de la machine et donc de proposer des solutions pour améliorer la productivité par la mécanique. Celle-ci s'entend non seulement en termes physiques, mais aussi et surtout en termes économiques. C'est pourquoi, le théoricien saxon propose comme première série de paramètres à observer pour la construction d'une machine, l'énergie disponible, qui doit être « forte, continue et bon marché »⁶⁴. Leupold, bien qu'il ait réservé un chapitre de son livre aux machines à feu (toujours sous forme de pompes, sauf pour la roue à feu d'Amontons), ne mentionne pas les machines à vapeur dans les choix possibles. Il reste alors à arbitrer entre l'eau, le vent, les animaux et les hommes, en fonction des trois critères. Si l'eau et le vent sont toutes deux considérées comme peu chères, Leupold juge le vent trop changeant, aussi l'énergie hydraulique, continue et suffisamment forte dans de bonnes conditions, est de loin sa préférée. Ainsi annonce-t-il sans ambages que « 2. L'eau est à préférer à toutes les énergies, quand il existe suffisamment de quantité et de hauteur » et que « 4. Où l'on a de l'eau, on n'a besoin d'aucune autre énergie. ». Il ne faut pas s'étonner de cette préférence affichée pour l'eau. La Saxe, baignée par l'Elbe et ses affluents venant du pays minier de l'Erzgebirge, massif montagneux du Sud-est de l'Allemagne, possède autant de larges cours d'eau de plaine que de vigoureux torrents de

⁶⁴ TM1, §632. Texte original : „Bei der Krafft, dass sie starck, beständig und wohlfeil sei.“

montagne. Le vent, en revanche, y est assez faible, en l'absence de littoral. Bref, autant que possible, l'eau doit être préférée.

Cependant, quand les machines sont plus petites, ou ne doivent fonctionner que temporairement (point 15), ou que les ressources en eau et en vent sont insuffisantes, il est possible de recourir à la force animale. Sur ce point, Leupold développe plusieurs conseils d'usage pour améliorer la productivité à la fois physique en usant autant du poids que de la force des animaux, et économique en préférant les animaux aux hommes, car ils sont moins chers et plus puissants⁶⁵, et en ménageant lesdits animaux (mieux vaut qu'ils élèvent un poids lourd lentement qu'un poids léger rapidement, cette seconde possibilité les fatiguant davantage). Ce dernier conseil fait écho à ce qu'il écrit au paragraphe 264, où il explique que la force d'un homme est plus affaire de style de vie que de poids ou de taille. Ces remarques pourraient d'ailleurs être complétées, dans le cas du portage, par la description et l'explication mécanique des meilleures positions à prendre pour porter des poids selon la morphologie de la charge et de la "machine" utilisée (hotte, seau, panier, etc.) que Leupold propose en ouverture de son cinquième tome sur l'élévation des poids, et par le §301 de la fin du même volume, qui donne le poids et la hauteur à laquelle un homme peut lever un poids en une minute⁶⁶.

Il ressort de ces conseils sur l'usage des énergies, un critère de choix par défaut. Dans la mesure du possible, la machine devrait être hydraulique, dans les cas où ce n'est pas possible, cela dépend des besoins de la machine (activité continue ou temporaire ou alternée) et des ressources disponibles (vent suffisant ou non, main d'œuvre abondante ou non). Dans ces deux derniers cas, les différentes remarques obéissent à la même logique, si ces choix devraient être fait, autant éviter les faux-pas en expliquant bien la meilleure manière de tirer parti de ces énergies.

⁶⁵ Exception faite des machines qui ne nécessitent qu'un homme pour être mues, car un animal a toujours besoin d'un homme pour être dirigé.

⁶⁶ TM5, chapitre 2 (§3 à 19 et planche 1 et 2). Ce type de description se retrouve chez Charles Dupin au XIX^e siècle, et il est typique d'une démarche technologique, cherchant avant tout à rendre compte de toute technique, fût-elle la plus simple, avec les mêmes catégories d'analyse. Pour Leupold, un homme lève 1 quintal à 60 pieds, en une minute, et par une règle de proportion donnée auparavant, il calcule plusieurs autres possibilités.

Les énoncés qui suivent, « de la *machine*, il y a à voir »⁶⁷, sont très semblables. Sous forme de phrases très courtes, les conseils donnés peuvent concerner soit la machine en général, comme le point 19 sur la composition « plus simple est la machine, meilleure est son efficacité et moindre son coût » ou le point 25 sur la vitesse et les frottements ; soit le dimensionnement d'une pièce, comme le point 22 : « une petite roue bien proportionnée peut faire mieux qu'une grande » ou le point 35 sur la rondeur des axes ; soit le choix ou l'ajout de tel ou tel mécanisme, comme le point 27 sur l'excellence du treuil ou le point 29 sur les volants : « on ne doit pas négliger, là où c'est utile, l'usage des volants d'inerties ». Au total, en comptant les remarques sur les énergies, ce sont 36 conseils qui sont ainsi donnés, 36 conseils permettant de ne pas oublier des points importants dans la conception de la machine, et d'éviter quelques faux pas, 36 conseils largement complétés par les maximes et remarques qui parsèment la description des machines et éléments dans les différents tomes⁶⁸.

Ces 23 maximes finales qui concerne la machine "hors-moteur", sont toutefois précédés d'une liste de trois points principaux (point 14, en cinq questions) à prendre en compte sur la machine : le temps de l'usage (continu ou temporaire ?), l'énergie disponible (quelle quantité ? suffisante ou non ?), la charge (divisible ou non ?). Pourtant, rien ne relie explicitement cette liste aux conseils donnés dans le reste du paragraphe, tout comme aucun lien n'était explicitement donné entre les questions concernant la pompe à manivelle. En résumé, malgré des principes généraux de construction et une attention apportée à quelques points précis, le lecteur ne peut guère s'appuyer que sur son génie pour concevoir la composition de sa machine. Les conseils agissent comme des garde-fous, plutôt que comme des règles à suivre, le calcul permettant cependant de vérifier sur le papier, l'effet de la machine. La question se pose, au seuil du reste de la collection, de savoir si les autres tomes, qui proposent de nombreuses descriptions concernant différents types de machines, ne constituent pas une autre facette de son dispositif d'aide à la conception, permettant de compléter ces conseils généraux.

⁶⁷ TM1, §632. Texte original : „II. Bei der *Machine* ist zu sehen“

⁶⁸ Un exemple parmi d'autres, mais notable : nous trouvons dans la préface du premier *Theatrum Machinarum hydraulicarum* (TM3), trois paramètres à bien observer dans la conception de machines à élever les eaux, à savoir : la forme du récipient (seau, auge, etc), les moyens d'élévation (cordes, vis d'archimède, etc), et l'énergie appliquée.

Une bibliothèque de situations

En France, au début du XIX^e siècle, dans les écoles des mines de province, les professeurs mettent en place ce que le professeur Anne-Françoise Garçon a appelé des « bibliothèques de situations »⁶⁹. Il s'agit en réalité d'habituer les futurs ingénieurs à travailler tant avec des installations anciennes, qu'avec les plus neuves de celles-ci. Pour ce faire, les professeurs présentent dans leurs cours, avec forces images, descriptions, maquettes, et parfois en vrai, de nombreuses machines anciennes, avec cependant cette particularité d'être re-normalisées, c'est-à-dire décrites et calculées selon les normes et le savoir de l'époque⁷⁰. Cette re-normalisation de l'ancien a plusieurs utilités : elle permet de prouver par l'expérience le fonctionnement des machines, elle permet aussi de s'exercer au calcul de leur efficacité et par là, d'habituer l'élève au projet et à l'anticipation par l'esquisse et le calcul, elle permet enfin, de pointer les lacunes et donc les possibles lieux d'améliorations dans les machines. À cette habitude de l'ancien s'ajoute une banalisation du nouveau. De nombreux procédés, descriptions, mises en scène, images, sont là pour rendre les machines aussi communes que les anciennes, et ceci, afin de ne pas dévaloriser l'ancien.

À cette exception près que la nouveauté ne fait pas l'objet, chez Leupold, de la même banalisation, nous ne saurions mieux décrire le reste de l'œuvre de Leupold qu'avec ce concept de « bibliothèque de situations ». Nous avons déjà largement traité la façon dont Leupold pose les différentes normes (statique et machines simples, frottement, vitesse, moteurs) sur lesquelles reposent les descriptions de ces machines, classées selon les machines simples qui leur servent de principes fondamentaux. Reste à montrer que les descriptions des machines qui « seront présentées en *figures* et expliquées avec diverses *machines* »⁷¹, participent davantage d'une bibliothèque de situations que d'une topique héritée des anciens théâtres de machines, et dépasse la logique du catalogue instaurée

⁶⁹ Anne-Françoise GARÇON, « La science, l'esthétique et l'écoulé », in Armand HATCHUEL et Benoît WEIL (dirs.), *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Cerisy-la-Salle, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy, 2008, . Lire aussi le chapitre V de Anne-Françoise GARÇON, *Entre l'État et l'usine*, op. cit.

⁷⁰ « Les modes opératoires les plus anciens étaient montrés, décortiqués au même titre que les plus neufs, ils étaient parfois réfutés, mais en aucun cas, ils n'étaient brocardés ou gommés ». Anne-Françoise GARÇON, *Entre l'État et l'usine*, op. cit., p. 165.

⁷¹ TM1, préface. Texte original : „die *Principia mechanica* alleine abhandelt, in *Figuren* vorgestellt, und mit besondern *Machinen* erkläret“.

au début du XVII^e siècle. Les quelques exemples ci-dessous nous permettrons de revenir sur la façon dont Leupold présente les machines, pose ses calculs, propose des améliorations et des inventions, et comment il traite la nouveauté. Nous serons, dans ces descriptions, très attentifs aux règles qu'il expose dans une optique de projet, afin de voir si ne réside pas dans cette partie de son œuvre les linéaments d'une théorie plus explicite de la conception.

Décrire des machines

La plupart des tomes des *Theatri* répondent à un souci encyclopédique. Leur rôle est de rendre compte, de façon raisonnée et ordonnée, d'un maximum de machines connues, qu'elles existent ou aient existées, ou qu'elles aient été simplement pensées et publiées. Ces successions de descriptions pourraient, à première vue, faire penser aux théâtres de machines antérieurs, mais leur organisation, et surtout leur mode de rédaction, en sont totalement différents⁷². Les différents chapitres ne sont organisés ni comme dans le Ramelli, ni comme dans le Zonca, ni comme dans le de Caus, ni même comme dans le Zeising. À chaque chapitre, en effet, ne correspond pas une machine particulière, mais un type de machines, une sous-classe pourrions-nous dire : grues à levier, machines à treuil, machines à vis d'Archimède, etc.

Chaque chapitre débute donc de la même façon que les chapitres sur les machines simples et obéit aux mêmes normes de rédaction (définition et nom de la machine générique, principe référent -levier, treuil etc.-, mécanismes). Leupold donne ensuite toujours les mêmes informations, quoique dans un ordre parfois fluctuant. Suit souvent l'explication de l'utilité de la machine, c'est-à-dire l'effet avantageux qu'elle procure, puis la manière de calculer la force et/ou l'effet de celle-ci, avant l'explication des différentes "façons" de la machine générique, c'est-à-dire différentes traductions matérielles. Ces "façons" sont, elles aussi, définies et rapidement calculées : utilité et calcul se déduisent en effet directement des référents (machines simples et moteurs) mobilisés dans la définition : une machine élévatoire à levier possède l'utilité que permet le levier et se

⁷² Nous n'analysons pas en détail, dans cette thèse, les diverses formes que prennent les *Theatri* publiés par le hollandais Pierre Schenck, mais nous pouvons préciser ici que les descriptions qu'il propose sont beaucoup plus proches de celles d'un Zonca que d'un Leupold. Là où le saxon marque une rupture, le hollandais met à jour une tradition du catalogue, sans en renier les codes.

calcule selon son principe. Un calcul d'autant plus simple que le lecteur est exercé après la lecture du premier tome, auquel renvoie l'auteur.

Prenons l'exemple du chapitre sept du cinquième tome, portant sur le transport (horizontal et vertical) des charges lourdes. À la suite d'un chapitre cinq dédié aux machines à levier, et un chapitre six sur les machines à treuils (principes), permettant de déplacer et d'élever de très lourdes charges (bateaux, obélisques), le septième chapitre présente les grues utilisées dans la construction de bâtiments. Le titre du chapitre, « grues et machines élévatoires »⁷³, donne le nom de la machine générique. Après une courte mention de l'utilité de ces grues, se succèdent plusieurs types de grues, fonctionnant aussi pour la plupart selon le même principe du treuil, mais pour des charges moins lourdes (pierres, poutres). Prenons ici le cas la grue décrite aux paragraphes 194 et 195. Reprise de l'*Architectura civili* de Sturm le jeune⁷⁴, cette machine est actionnée par deux cages d'écureuil, alors que la machine qui la précède, figurant dans plusieurs *Architectures*⁷⁵ n'en avait qu'une seule. Toutes fonctionnent selon le principe du treuil, qui définit le chapitre. Le fonctionnement de la grue de Sturm peut être résumé ainsi : deux cages à écureuils, fixées sur un arbre vertical, entraînent un treuil, dont la corde, passant par deux poulies, soulève le poids. L'arbre vertical (AW) permet à la grue de tourner et de déposer le poids où nécessaire.

Après avoir expliqué qu'il a réduit le dessin des quatre planches initiales de l'ouvrage de Sturm en trois : une coupe de profil, une coupe de dos et une perspective cavalière (voir Figure 50 : ci-dessous), Leupold décrit la machine d'une façon similaire à sa description de la poulie⁷⁶ : élément après élément, sans se soucier prioritairement du respect du chemin cinématique, mais en insistant sur les liens d'attache entre les différentes pièces de la machine.

⁷³ TM5, chapitre 7, §184. Texte original : „Von Kranen und Hebzeugen“

⁷⁴ Leonhard Christoph STURM, *Architectura Civili-Militaris*, Augsburg, Jeremiah Wolff, 1719.

⁷⁵ Leupold cite l'*Architecture* de Félibien, et de Vitruve, traduit par Claude Perrault. Frère de Charles Perrault, Claude Perrault est un scientifique et architecte français, membre de la première Académie royale des sciences. Il a traduit et commenté les dix livres de l'*Architecture* de Vitruve. C'est sans doute cette traduction qui sert de référence à Leupold quand il cite les inventions de ce dernier.

⁷⁶ Voir *infra* « Définir des référents et leurs parties », p. 364.

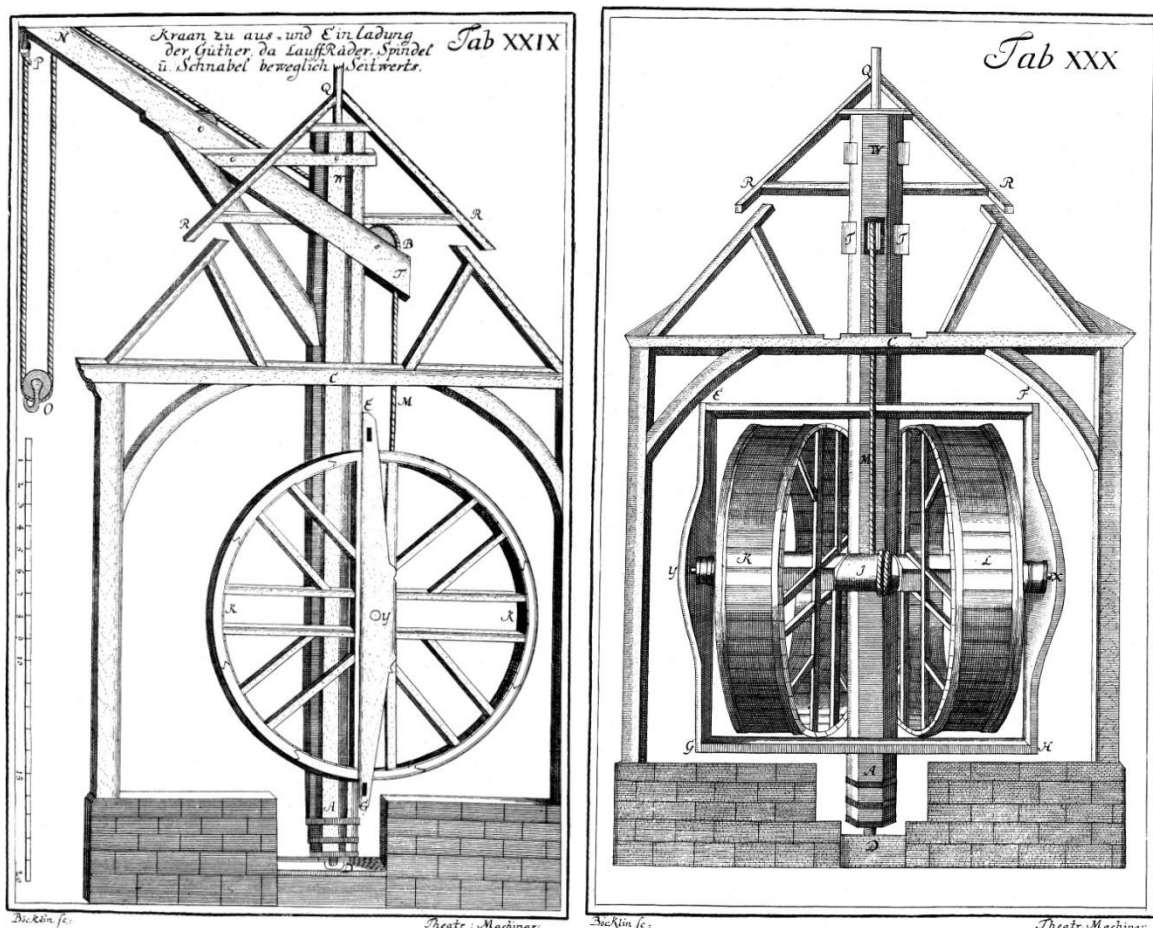


Figure 50 : Coupe de profil et de dos d'une grue. Planches 29 et 30 de Jacob Leupold, *Theatrum Machinarium* (Leipzig, 1725)

Il propose ensuite de calculer la machine comme suit :

« §195. L'augmentation de l'énergie (de la force), vient de la *proportion* de l'arbre, et de la taille de la roue, et que quatre personnes ou plus, quand c'est nécessaire, y appliquent leur poids. On voudrait calculer l'énergie sans danger, ainsi, se retrouve-t-on d'après l'échelle, avec un *rayon* d'un pied pour l'arbre et de 7 pieds pour la roue, si deux hommes seulement devaient aller à 5 pieds de l'axe de la roue, et chacun peser seulement un quintal, chaque roue soulèverait 20 quintaux, ce qui, avec le moufle croîtrait par 2, ce qui fait 40. Devrait-on, dans chaque roue, laisser travailler deux hommes de plus écartés de 2 pieds de là, également lourds d'un quintal, seraient aussi soulevés par chaque roue 6, et par les deux 12, et avec le *doublément* du moufle 24, et donc avec les derniers 40, 64 quintaux, ainsi pourrait *valoir* cette grue au minimum. Comment calculer la roue d'entrain [cage d'écureuil], on le trouve dans le *Theatro generali*, planche 37, § 272 et suivants. »⁷⁷

⁷⁷ TM5, chapitre 7, § 195. Texte original : „§ 195. Die Vermehrung der Krafft kommt auf die *Proportion* der Welle, und Grösse der Räder an, und dass vier und mehr Personen, wenn es nöthig, ihre Schwere anwenden können. Wollte man

Notons que l'auteur donne les résultats des calculs sans les développer (treuils et moufles sont connus). Concernant l'énergie, il est simplement fait référence aux parties du premier tome traitant du type de moteur utilisé (la cage d'écureuil). Le calcul n'est pas effectué devant le lecteur, celui-ci est renvoyé aux principes fondamentaux des mécanismes utilisés. L'auteur insiste sur le passage des calculs de chacune des parties au résultat final par addition (les détails des calculs des parties ayant été rappelés en début de tome, ou décrits dans le premier tome).

Remarquons aussi, dans l'extrait et les planches ci-dessus, l'usage de l'échelle⁷⁸. Jamais systématique, l'échelle est cependant présente sur de nombreuses images dans les tomes descriptifs, contrairement aux tomes théoriques. La raison en est double. La première est le référencement géographique des machines présentées. Leupold ne présente plus des machines génériques ou des principes, mais des machines qu'il a pu observer réellement ou des projets relevés dans tel ou tel livre, comme ici. L'échelle contribue donc à asseoir la matérialité de la machine. Plus intéressant, l'usage de l'échelle dans le calcul nous renseigne sur la raison pour laquelle l'auteur saxon la maintient : elle permet de prendre directement sur la planche les mesures approximatives nécessaires à un calcul sommaire du dimensionnement des pièces d'une machine qui souvent fonctionne réellement. Nul besoin cependant d'une échelle trop précise, le dessin n'ayant toujours pas pour vocation d'être reproduit tel quel, il permet simplement au lecteur d'étoffer sa connaissance des ordres de grandeur des pièces de la machine par rapport à l'effet calculé par Leupold.

Notons enfin que ces descriptions sont parfois étoffées de remarques sur le coût de la machine, la taille réelle de certains éléments, dont l'espace de la page ne permet pas une juste représentation des proportions⁷⁹, la place de certains éléments, les nœuds

die Krafft ohngefehr berechnen, so findet sich nach dem Maassstab der *Semi-Diameter* der Welle ein Fuss, und des Rades 7 Fuss, sollten nur die zwei Männer 5 Fuss weit von der Achse in Rade gehen, und einer nur 1 Centner schwehr sein, betrügen beide Räder 20 Centner, diese durch 2 mit der Flasche vermehret, thut 40, sollte man in jeden Rad noch zwei Männer 2 Fuss von dar abstehend, Dienste thun lassen, gleichfalls von eines Centners Schwehre, würde es auch in jeden Rad 6, und in beiden 12, und mit der *Duplicirung* der Flasche 24, und also mit vorigen 40 in die 64 Centner betragen, so zum wenigsten mit diesem Kran kann *praestiret* werden. Wie das Lauff-Rad zu berechnen, findet ihr in *Theatro generali Tabula XXXVII. §. 272. seqq.* “

⁷⁸ Placée en bas à gauche de la planche 19, celle-ci n'est pas répétée sur la planche 20, alors même que l'échelle n'est manifestement pas la même, la coupe de dos représentant la machine plus petite.

⁷⁹ Comme ici le bras de la grue, dessiné plus court qu'il n'est en réalité à cause de la taille de la page nous dit Leupold.

techniques sur lesquels il faut insister, comme par exemple le fait que tel arbre doit être d'un bois dur et durable, ou tel bras lié solidement à tel autre. Des conseils qui sont le signe de ce qui n'est pas calculé, par faute de connaissances (ici résistance des matériaux).

Voilà donc en quelques mots en quoi consiste la plupart des tomes des *Theatri* : des listes de machines ainsi décrites et calculées, comme des exercices ou des catalogues, fournis au lecteur pour qu'il s'habitue aux différentes formes de machines, à leurs avantages, et à leurs coûts. Le classement selon le principe interne central de la machine (treuil, poulie, etc.) permet de faciliter le calcul de ces machines ; peut-être permet-il aussi de faciliter le choix d'un type de machine en fonction d'un besoin, mais rien ne permet de l'affirmer explicitement, et certains types de machines sont utilisés dans des contextes similaires (grues à treuil et grues à levier sont représentées indifféremment pour élever des pierres ou des bateaux). Il n'en demeure pas moins que ce mode de présentation permet au lecteur d'obtenir facilement des exemples, si ce n'est des modèles à redimensionner, dont il s'exerce à calculer le dimensionnement.

Améliorer l'ancien

Ces descriptions cependant, ne sauraient, à elles seules, résumer le contenu des chapitres. Outre qu'ils mentionnent souvent de petits moyens, notamment concernant la dimension des pièces, pour améliorer l'efficacité des machines, ces textes se succèdent selon un ordre particulier. Leupold cherche en effet à ordonner ses machines de la plus simple à celle qui, sans être d'une grande complexité cinématique, devrait être plus efficace, la plus améliorée. Sans que la logique ne demeure permanente d'un bout à l'autre du chapitre, le lecteur a donc une impression générale de montée progressive et cumulative de la qualité des machines, sur différents critères : force, solidité, vitesse, coût.

Reprenons le chapitre sept du cinquième tome sur les grues de bâtiments. Celui-ci commence par une grue simple avec un treuil, une corde passant par deux poulies à l'extrémité d'un bras. La seconde machine est une chèvre avec un moufle des plus simples (2 poulies). Suivent une grue à treuil dont le bras pivote, puis deux autres grues posées entièrement sur un pivot (toute la machine pivote et pas seulement le bras de la

grue). La machine suivante, « la grande grue de construction française »⁸⁰, est posée sur pivot, mais actionnée par une cage d'écureuil, donc *a priori* plus puissante que si elle l'était avec un treuil à main. Elle précède la machine de Claude Perrault, réputée plus solide que la "grande française". La prochaine, avec deux cages d'écureuils est celle que nous avons décrite plus haut. Le titre que Leupold donne à cette description est d'ailleurs intéressant, en révélant où se situe l'amélioration : « Une grue plus forte avec deux roues d'élan, dont le bras et un bout de toit se meuvent solidairement ».

La machine qui suit celle que nous avons décrite s'intitule sobrement : « une grue quasi la même que la précédente, à ceci près qu'elle demeure entièrement stable et que seul le bras se meut », et qui se trouverait à Brême selon Leupold. Tout le bâti et les deux cages d'écureuils ne pivotent donc pas, car seul le bras de la grue est posé sur pivot. Si cela ne complique pas la machine, cela améliore en revanche son rendement économique :

« §197. Cette grue coûte environ moitié moins que la précédente, et est bien plus résistante, et fait aussi bien, à cela près qu'on ne peut la tourner et retourner, mais ne peut faire qu'un demi-cercle, ce qui est suffisant. »⁸¹

Les améliorations ne sont donc pas toujours des complexifications ; elles peuvent se faire par changement du moteur ou optimisation de la cinématique dans l'idée d'alléger le poids global de la machine. Nous voyons ici toute la subtilité de l'auteur, pour qui l'amélioration dépend du contexte : si Leupold a aussi présenté des grues pivotant entièrement avant la dernière pourtant moins coûteuse, c'est qu'elle peut être utile dans certains cas, où faire un tour complet est nécessaire.

La suite du chapitre comprend trois grues. La première est semblable, mais en plus petit, à la "grande française". La seconde, peut-être inventée par Leupold, est une « grue facile dont les [marchands] particuliers auront besoin »⁸². La dernière est issue du théâtre de machines de Jacques Besson (planche 55), donnée en fait à titre de contre-exemple.

⁸⁰ TM5, planche 28, légende. Texte original : „Der Frantzösische grose Bau Kran“. Il s'agit de celle décrite par Claude Perrault dans sa traduction de Vitruve. Voir *infra* note 75, p. 434.

⁸¹ TM5, chapitre 7, §197. Texte original : „Dieser Kran brauchet kaum die halben Kosten, und ist viel beständiger, thut eben dieses als voriger, nur dass man das Guth nicht um und um drehen kann, sondern nur auf dem halben Circkel, so aber auch genug ist.“

⁸² TM5, planche 34, légende de la figure 1. Texte original : „Leichter Kran wie er von *Privatis* gebrauchet wird“, c'est dans la description que Leupold précise qu'elle est destinée à des marchands („Kauffleuthe“).

En effet, dite : « coûteuse et difficile, et pourtant d'aucune grande résistance. »⁸³, Leupold décrit la machine, explique pourquoi elle est coûteuse et pourquoi mieux vaut choisir une des autres grues, avant d'ajouter en conclusion du chapitre que « quand il est dit : *simplicitas delectat*, alors [...] on ne ferait pas de vaines dépenses. »⁸⁴. L'apprentissage du bon passe donc aussi par le repérage des mauvaises machines, et de l'organisation de la bibliothèque de situations que sont les *Theatri* doit pouvoir rendre compte de ces mauvaises conceptions. Le pédagogue pioche donc dans diverses sources non seulement pour donner au lecteur un panorama le plus complet possible des machines alors en usage, mais sans doute aussi pour prévenir l'effet néfaste de mauvaises lectures.

Les sources de Leupold

Nous l'avons déjà vu pour la partie théorique, que Leupold se définirait comme un passeur, qui transmet un savoir appris ailleurs, après en avoir normalisé la rédaction. Les sources de Leupold diffèrent ici, puisqu'il ne s'agit plus de rendre compte d'un savoir déjà bien présenté par ailleurs, mais de faire une recension des différentes "façons" de machines. Or, pour cela, Leupold use de sources extrêmement diverses, dont le traitement n'est cependant pas toujours identique.

Nous pourrions distinguer trois à quatre sortes de sources. Il y a d'abord les machines que Leupold a réellement observées. Les machines hollandaises sont vraisemblablement au nombre de celles-ci, notamment les moulins, puisque Leupold dit dans sa préface que son souverain, Auguste-le-Fort, avait financé un voyage dans les Provinces-Unies. Il faut aussi ajouter à celles-ci toutes les machines issues de son expérience professionnelle : machines minières (exhaure, et grues), notamment quand l'auteur précise qu'elles sont en usage dans les Erzgebirge⁸⁵. Leupold mentionne aussi parfois des façons "saxonnes" de certaines machines. Ces machines, Leupold en fait souvent une description assez

⁸³ TM5, chapitre 7, §200. Texte original : „Ein Kran des Bessonii, der zwar mühsam und kostbar, dennoch aber von keiner grossen Beständigkeit zu sein scheint.“

⁸⁴ TM5, chapitre 7, § 200. Texte original : „und wenn es heist : *simplicitas delectat*, so wird leichte keiner sich solche erwehlen, und vergebliche Kosten machen.“

⁸⁵ Massif montagneux au Sud de la Saxe. Les Erzgebirge, littéralement "monts métallifères", s'ils ne dépassent pas les 1300m, ont un climat rude semblable aux Alpes en hiver. Surtout, elles constituent la majeure partie du pays minier de Saxe et sa principale richesse. S'y trouvent en effet de nombreux métaux (notamment argent, étain, fer, et plus récemment uranium). Ce sont aussi ces montagnes qu'Agricola avait sous les yeux lors de la rédaction de son *De Re Metallica*.

détaillée. Les ayant vu en fonctionnement, et parfois plusieurs, il met rarement en doute leur fonctionnement, indiquant simplement quelques variantes possibles. À ces machines directement observées, il faudrait ajouter les recensions et comptes-rendus dans certains journaux savants, et notamment les *Acta Eruditorum* de Berlin et le Journal des savants de Paris (que Leupold traduit : « *Gelehrten Zeitung* »), ou dans la littérature de voyage, des machines existantes. Le meilleur exemple des machines recensées via ce type de littérature est sans conteste la machine de Marly, qui occupe près de vingt paragraphes du tome 4 sur les machines hydrauliques. Au début du paragraphe 79, Leupold précise que c'est dans « le Curieux *Antiquaire* augmenté, p. 91 » qu'il a trouvé des informations sur les roues de cette machine. Il s'agit d'un « recueil géographique et historique des choses les plus remarquables » de la Terre, écrit par le théologien hambourgeois Paul Ludolph Berckenmeyer, en 1709, augmenté en 1712 puis en 1720, avant d'être traduit en français en 1729⁸⁶. Leupold use donc de cette littérature de voyage et de témoignage pour détailler, mécanisme après mécanisme les différentes parties de la machine de Marly, sans toutefois s'aventurer à un calcul général de la machine.

Le second type de sources, directement littéraire, est au moins aussi représenté, voire plus, que les machines réellement existantes, connues *de visu*, ou par le biais de témoignages détaillés. La plupart des machines proviennent de livres du XVII^e siècle, plus rarement du début du XVIII^e siècle. Leupold use ainsi des ouvrages de mathématiciens mixtes, comme les Sturm, d'inventeurs, comme Denis Papin, mais surtout d'architectes, comme Claude Perrault ou Joseph Furtenbach (architecture navale). Avec une légère préférence pour les auteurs germanophones, Leupold n'hésite pas, pour autant, à regarder la littérature française, dont il parle sans doute la langue. En revanche, il n'est pas fait mention de traités anglais, ou de machines anglaises, exception faite de Savery pour son "amie du mineur"⁸⁷. La description de ces machines reprend parfois mot pour mot celle de l'auteur original, mais le plus souvent, Leupold intègre celle-ci à son mode normalisé de rédaction, et fait une copie des planches originales. Ces descriptions ne

⁸⁶ Paul Ludolph BERCKENMEYER, *Vermehrter Curieuser Antiquarius, Das ist: Allerhand auserlesene Geographische und Historische Merckwürdigkeiten So in denen Europæischen Ländern zu finden*, Hamburg, Schiller, 1712. Paul Ludolph BERCKENMEYER, *Le curieux antiquaire, ou Recueil géographique et historique des choses les plus remarquables qu'on trouve dans les quatre parties de l'univers*, Leide, Pierre Vander, 1729.

⁸⁷ "L'amie du mineur" est le surnom donné à la machine d'exhaure de Savery, fonctionnant à la vapeur. En réalité, elle pouvait tout aussi bien précipiter la mort du mineur, à cause d'explosions fréquentes de la chaudière.

sont pas exemptes de reproches de la part de l'auteur, notamment quand elles annoncent des résultats trop irréalistes, néanmoins Leupold leur accorde souvent crédit, quitte à pointer parfois quelques améliorations possibles.

Tel n'est pas le cas des machines issues des théâtres de machines qui, englobés dans les sources littéraires, y ont cependant une place tout à fait particulière et constituent la troisième « source » de Leupold. Nous avons déjà largement traité les relations de Leupold aux théâtres de machines dans ses préfaces⁸⁸. Les quelques exemples pris ci-dessus, que ce soit le treuil de Ramelli⁸⁹ ou la grue de Besson⁹⁰, suffisent d'ailleurs à montrer que les critiques de Leupold portent principalement sur la non prise en compte de l'économie de la machine : temps ou coût. Les rares cas où des références directes aux théâtres antérieurs ne sont pas péjoratives, sont les cas de mécanismes, empruntés à telle ou telle machine, et souvent sujets à améliorations (les pompes rotatives de Ramelli par exemple), mais jamais pour des machines complètes, souvent placées en contre exemples, pour montrer ce qu'il ne faut pas faire, et mettre en garde contre une littérature envers laquelle Leupold ne cache jamais sa suspicion.

La quatrième "source" de Leupold, enfin, réside dans ses propres inventions ou celles d'amis qu'il ne cite pas. Relativement rares, ces dernières viennent souvent à la fin des chapitres. Appuyées sur une ou plusieurs machines auparavant décrites, les inventions du saxon sont toujours réputées plus simples ou apportant tel ou tel avantage, souvent une réduction du coût de production de la machine pour un effet semblable. En bref, il s'agit plutôt d'illustrer quelques améliorations possibles de machines que d'innover réellement. C'est parce qu'à la différence des professeurs de mécanique du XIX^e siècle, Leupold se méfie de la nouveauté.

Leupold, l'ancien, et le nouveau

L'historien des techniques avide de querelles de paternité et de définition exacte d'une chronologie des inventions serait très déçu en lisant Leupold. Ses rares inventions, nous l'avons vu, sont surtout des optimisations de machines anciennes, et la théorie sur

⁸⁸ Voir *infra* « Les *Theatri* de Leupold et les théâtres de machines », p. 315.

⁸⁹ Voir *infra* Figure 40 : p. 374.

⁹⁰ Voir ci-dessus p. 439.

laquelle il s'appuie, tout comme les machines qu'il présente sont déjà anciennes et bien connues pour son époque. Seule exception : la rapide présentation des proto-machines à vapeur et à feu de Savery, Papin et Amontons. Mais il y a là une première lignée technique à faire apparaître, et gageons qu'il s'est plié à cette prise en compte de la nouveauté que pour parfaire l'aspect encyclopédique de son œuvre. Quoiqu'il en soit, certains, dès son époque ont dû critiquer ce choix de ne pas rendre compte de la nouveauté, car Leupold se sent obligé de s'en expliquer dans la préface du troisième tome, sur les machines hydrauliques, avec son ironie habituelle :

« À ceux qui ne trouvent pas dans mes livres autant de machines nouvelles et différentes, qu'ils l'espéraient ou se l'étaient figuré, leur servira cette réponse amicale : que je ne me laisse pas surprendre le moins du monde par celles-ci [les nouvelles machines], sachant bien, que tous les jours, le monde ne cherche et ne souhaite avoir que le neuf, non seulement la dernière mode d'habits, de boisson et de nourriture, etc. mais aussi de machines, quand en effet sort quelque chose de neuf, de différent et de curieux, il aurait cent fois l'avantage des anciennes, et aussi se conserver, ne voyant pas que souvent elle ne possède pas la moitié de la qualité et utilité de l'ancien. »⁹¹

Citant encore l'adage latin « Mundus vult decipi, decipiatur ergo » (« le monde veut être trompé, alors trompé il sera »), il prône une position particulièrement sceptique et suspicieuse envers toute nouveauté, et notamment celles qui proclament être très efficaces. Effet de mode, trop vite conçues, trompeuses, sa défiance envers les nouveautés cache sans doute aussi un manque de temps et de moyens pour vérifier les effets des différentes machines présentées. Il rappelle à ce titre que :

« Inventer quelque chose de nouveau et de mieux n'est pas une aussi simple chose, que certains se l'imaginent, ce n'est pas non plus une de celles auxquelles travaille seule une personne, notamment quand il doit tout faire à ses propres frais et après cela le partager gratuitement ; car cela n'est pas encore stipulé avec un plus simple savoir, art, compétence et expérience (qui sont pourtant principalement nécessaires), mais cela demande aussi temps et opportunités,

⁹¹ TM3, préface. Texte original, suivi de celui de la citation suivante : „Wie sie nicht so viel neue und besondere Maschinen in meinen Büchern gefunden, als sie sich eingebildet und gehoffet. Diesen aber dienet zur freunlichen Antwort : Dass ich mich dieses im geringsten nicht befrembden lasse, wohl wissend, dass die Welt täglich nur was neues sucht und haben will, nicht nur neue Moden in Kleidern, Tranck, Speisen, u. dgl. Sondern auch Maschinen, ja wenn nur was neues, frembdes und seltsames hervor kommt, muss es hundert mahl den Vorzug vor dem Alten haben, und auch behalten, ungeachtet es öfters nicht die Helffte von der Güte und Nutzen des Alten besitzt. [...] Bei allen Begebenheiten aber was Neues und Bessers zu erfinden, ist keine so geringe Sache, als sich mancher einbildet, auch nicht eines Menschen Arbeit alleine, absonderlich wenn er alles auf seine eigene Kosten unternehmen und hernach jeden umsonst mittheilen soll; denn es hier mit bloser Gelehrsamkeit, Kunst, Geschicklichkeit und Erfahrung, (die doch hauptsächlich nöthig sind,) eben noch nicht ausgemacht ist, sondern es gehöret auch Zeit und Gelegenheit, inserheit aber viel Geld darzu, besonders wer behutsam gehen, und vorher in kleinen und Grossen Proben machen und alle Umstände genau examiniren will,..."

mais beaucoup d'argent pour cela, particulièrement pour celui qui va lentement, faisant des essais en petit et en grand, et voulant examiner exactement toutes les circonstances... »⁹²

Malgré ces avertissements, les critiques doivent continuer puisqu'il est obligé de s'expliquer de nouveau dans la préface du tome cinq sur les machines élévatoires. Pourquoi une telle position envers la nouveauté ? Les raisons invoquées ne sont pas le désordre que provoquerait une innovation, le côté subversif de toute nouveauté qui parcourait les siècles précédents, mais au contraire le temps et les coûts inutiles. Rappelons que la fin du XVII^e siècle avait été riche en inventions de toutes sortes, notamment de machines à élever les eaux sans frottement (c'est-à-dire sans pompe), qui ne faisaient bien souvent que reprendre d'anciens types de machines, sans les comprendre tout à fait⁹³. La méfiance du saxon n'est donc pas sans fondements, et il n'hésite pas à rappeler les mésaventures de tel ou tel inventeur, ayant perdu une fortune à faire construire des machines inefficaces.

L'objectif de Leupold n'est pas donc pas l'innovation, mais l'optimisation. Il s'agit de trouver le moyen pour l'industrie saxonne, sinon de se normaliser, du moins de devenir plus efficace. Or, la pensée de cette efficacité économique ne réside pas dans le nouveau, mais dans ce que Leupold nomme l'ancien, mais qui, à la lumière de ces différentes remarques, est en fait l'éprouvé. La mission du concepteur ne serait donc pas principalement de faire naître une machine nouvelle, mais d'éprouver le fonctionnement des machines existantes, et si possible à moindre coût, c'est-à-dire sur le papier. C'est dans cette logique que prend sens l'ensemble des conseils du commissaire aux mines de Saxe pour concevoir des machines.

Régler la conception ?

Nous devons le titre de cette dernière sous-partie aux travaux d'Armand Hatchuel, Benoît Weil, et Pascal Le Masson. Ces trois professeurs de l'école des Mines Paristech travaillent sur les théories de la conception et distinguent la conception innovante,

⁹² Voir note précédente pour le texte original. Cette vision nouvelle de l'invention, collective et lente, ressemble fort à celle des bureaux d'études !

⁹³ Sur les recherches sur les frottements, lire « Obstacles à la communication » dans Jean-Pierre SERIS, *Machine et communication*, *op. cit.*

c'est-à-dire capable d'innover rapidement et/ou d'intégrer rapidement les innovations, de la conception "réglée", dont le modèle est celui de l'optimisation du connu et des bureaux d'études. Ce dernier modèle se définit par la normalisation de l'ensemble du processus de production. Leurs travaux nous intéressent de deux façons, d'une part, ils ont mis en place une théorie générale de la conception, la théorie C/K, capable de rendre compte dans un modèle mathématique unifié de nombreuses autres théories⁹⁴ ; d'autre part, ils ont étudié la mise en place de la conception réglée dans l'Allemagne du XIX^e siècle⁹⁵. Or nous allons chercher à montrer ici que cette conception réglée "à l'allemande" trouve en Leupold un illustre prédécesseur. Il nous a donc semblé important de présenter les travaux de ces chercheurs afin d'encadrer le propos, avant de tenter une formalisation du raisonnement de conception de Leupold.

La conception réglée allemande selon la théorie C/K⁹⁶

Laissons Benoît Weil et Pascal Le Masson résumer eux-mêmes en quelques mots leur modèle d'analyse :

« Afin de comparer et de comprendre les évolutions progressives des théories, nous nous sommes référés à un modèle général du raisonnement de conception, la théorie C-K. Il a été montré que ce formalisme rend compte de la conception systématique tout en étant plus large. Ce cadre formel nous a permis d'analyser les efforts et les élaborations théoriques qui ont contribué à l'émergence progressive de la conception systématique. La théorie C-K distingue l'espace des connaissances (K), l'ensemble des propositions ayant un statut logique (et en particulier les connaissances scientifiques, les savoir-faire...), et l'espace des concepts (C), l'espace des propositions sans statut logique (à commencer par les propositions servant à décrire les objets – produits, services... – qu'il y a à concevoir). Tout processus de conception consiste à ajouter au concept des attributs issus de K jusqu'à ce que la phrase ainsi formée ait un statut logique. Quatre opérateurs sont mobilisés en cours de processus : de C dans K (le concept suggère d'activer des connaissances dans K), de K dans C (des propriétés connues, dans K, sont mobilisées pour raffiner le concept), de K dans K (des connaissances sont déduites des connaissances existantes), de C dans C (le concept se structure en sous ensembles consistants). »⁹⁷

⁹⁴ La théorie C/K a été mise en place au départ pour favoriser un régime de conception innovante (l'idée générale est de penser les deux ensembles C (pour *concept*) et K (pour *knowledge*) en expansion). Pour certains, elle se pose en concurrente de la TRIZ, théorie fondée sur la résolution de conflits entre paramètres techniques à l'aide d'une base de données (39 paramètres techniques, 40 principes d'innovation, 8 principes d'évolution de l'objet). De notre point de vue, le niveau d'abstraction et de généralité place la théorie C/K en position de "méta-théorie", car son modèle peut permettre de rendre compte des autres théories de la conception, y compris la TRIZ.

⁹⁵ Pascal LE MASSON et Benoît WEIL, « Aux sources de la R&D : genèse des théories de la conception réglée en Allemagne (1840-1960) », *Entreprises et Histoire*, n°58, avril 2010, pp. 11-50.

⁹⁶ Toute cette s'appuie sur Pascal LE MASSON et Benoît WEIL, « Aux sources de la R&D », *op. cit.*.

⁹⁷ *Ibid.*, p. 14-15.

Cette formalisation du raisonnement de conception permet aux auteurs d'étudier les origines de la conception réglée en Allemagne. Ils font commencer celle-ci au milieu du XIX^e siècle, quand se pose la question du rattrapage industriel de l'Allemagne par rapport à l'Angleterre. La première normalisation de la conception serait donc l'œuvre du professeur de mathématiques, puis de machines (respectivement à l'école Polytechnique de Zürich puis à celle de Karlsruhe), Ferdinand Redtenbacher, autrichien de naissance. Redtenbacher observe qu'il n'est pas possible aux allemands de « suivre le chemin d'un empirisme pur » à l'anglaise, par manque d'expérience dans ce domaine. De même s'oppose-t-il à la science appliquée à la française : « Avec les principes de la mécanique, on n'invente pas de machines »⁹⁸. L'objectif est clair : apprendre aux ingénieurs à fabriquer des machines. Pour cela, il formalise une méthode, d'abord appliquée aux roues à eau, permettant à un ingénieur de dimensionner toutes les pièces d'un objet pour qu'il soit efficace en fonction de son contexte. L'idée principale de l'autrichien est qu'il suffit alors de réaliser une théorie complète de l'objet en question, de son comportement en fonction de différentes variables, et de donner les rapports entre les différentes parties de cette machine pour qu'elle soit la plus efficace possible. Le concepteur n'a donc plus qu'à choisir, et encore est-il guidé dans ce choix par ladite théorie, le type de machines à utiliser, et à calculer, par une simple règle de proportion, les dimensions des pièces nécessaires, quand il n'est pas aidé directement par des plans sans échelles ni dimensions, mais aux rapports justes. Benoît Weil et Pascal Le Masson proposent d'étudier plus en détail l'exemple de la roue à eau.

Redtenbacher commence ici par faire un état des connaissances sur les moulins hydrauliques. Trouvant plusieurs lacunes à cette science, il se propose de la compléter lui-même par des expériences, des essais et des modélisations. Une fois ces connaissances posées (K=les connaissances alors à disposition), il explique sa méthode. Celle-ci commence par un dialogue très guidé entre le concepteur et le commanditaire de la roue (C = roue à eau). Trois questions sont posées : la première est le budget, qui définit le matériau (acier ou bois, dont les rapports sont différents) ; les secondes concernent l'environnement de la machine, à savoir la hauteur de chute et le débit (les

⁹⁸ *Ibid.*, p. 19-20

réponses conduisent à une expansion de K –opération de C dans K-). Cela permet au concepteur de choisir, en fonction de ces deux derniers paramètres le type de roue à utiliser, en s'aidant d'un graphique simple (un choix dans K permet de préciser C -opérateur de K dans C-). De là, il suffit au concepteur de dimensionner sa roue en fonction des rapports proposés pour ce type de roue à l'aide de la théorie complète (opération de K dans C). Suit une dernière phase de mise au point. Il y d'abord une comparaison de l'efficacité réelle, dont le procédé de mesure est donné (de K dans C, qui permet une extension de K) et du résultat théorique (de K dans K). Redtenbacher finissant par donner des moyens d'améliorer ce rendement. Le résultat, sans être optimum, sera toujours globalement efficace, et obtenu avec une économie de temps estimable. Cela lui permet aussi de juger de la performance des roues déjà existantes, de supprimer les imperfections et de rapporter toutes les incertitudes à des règles solides.

Les auteurs précisent que cette méthode a un pouvoir génératif fort, c'est-à-dire qu'il est possible de créer énormément de roues très différentes avec cette méthode, à condition toutefois de rester dans le même modèle, et donc sans intégrer l'innovation. Elle a surtout un pouvoir conjonctif encore plus fort⁹⁹, qui demande assez peu de compétences au concepteur. Sur ce dernier point, en réalité, les auteurs montrent que l'activité de conception est divisée. Au concepteur de la machine, qui applique la méthode vient, en effet, s'ajouter un autre concepteur, qui définit le système de règles, c'est-à-dire celui qui est chargé de créer la théorie complète de l'objet, ou de la mettre à jour en fonction des innovations. C'est ce rôle que tient Redtenbacher en publiant, outre un livre sur les roues à eau, un autre sur les turbines, sur les machines à air chaud ou sur les locomotives. Dans cette méthode, en effet, tout type de machines a besoin de sa théorie complète accompagnée des modalités du choix et de la mise au point, et les successeurs de l'autrichien n'auront de cesse d'enrichir le catalogue des théories complètes.

Certes, cette méthode est née dans un contexte de redémarrage industriel outre-Rhin, mais comment ne pas voir la similarité entre l'ouvrage de Redtenbacher et celui de Leupold, qui écrit dans un contexte de planification des activités industrielles en

⁹⁹ Le pouvoir génératif considère la capacité de la méthode à produire de l'inconnu (extension de C). Le pouvoir conjonctif considère quant à lui les compétences K nécessaires pour réaliser cette expansion dans C, c'est-à-dire l'extension de K fournit par le concepteur (et non d'autres acteurs).

Saxe ? Le premier tome, avec les comptes-rendus des résultats scientifiques les plus anciens comme les plus récents, complétés par des essais personnels, des formules et des tables, n'apparaît-il pas comme une tentative de théorie complète des machines, complétée par des théories particulières en fonction des domaines (élévation de l'eau, transport et élévation de charges lourdes, ponts) ? Ne retrouve-t-on pas chez Leupold comme chez Redtenbacher la même recherche d'une voie médiane entre l'empirisme et la science appliquée (ce que nous appelons "technologie appliquée") pour la création de machines ? La thèse de G.W. Lockett montre comment Leupold donne dans son second tome les éléments spécifiques et nécessaires à la mise en place de travaux d'hydrauliques (instruments de topographie et de mesure du débit notamment).

Cependant Leupold diffère du professeur autrichien, en ce qu'il ne formalise jamais un raisonnement de conception de façon aussi structurée que Redtenbacher, et nous ne pouvons pas véritablement parler de théorie de la conception, tout au plus d'une tentative d'aider à la conception en proposant un système de règles. Il manque à Leupold de préciser et chiffrer les critères de choix (abaque de Redtenbacher), pour chaque type de machines qu'il propose, et de guider ainsi le lecteur de façon certaine.

Ce manque de clarification du processus rapproche Leupold des successeurs de Redtenbacher de la fin du XIX^e siècle : Franz Reuleaux et Carl Justus von Bach. Dans un contexte où les produits ont considérablement changé, sous l'effet d'une part de l'augmentation de la puissance des machines et de l'innovation sur les matériaux et les procédés, et d'autre part des critiques acerbes que subit l'utilisation étendue des mathématiques, la méthode des rapports de Redtenbacher est en difficulté, du fait des problèmes d'actualisation des théories complètes. Les nouveaux professeurs proposent alors des catalogues d'éléments de machines (« *Maschinenelemente* »), dont l'efficacité pour différentes fonctions fondamentales (roulement, assemblage, transformation d'un mouvement rotatif en mouvement alternatif, etc.) est largement expérimentée, avec des nouvelles formes ou de nouveaux matériaux. Cependant, les concepteurs allemands peinent à penser le processus même de conception comme l'avait fait Redtenbacher. Les écoles proposent alors des exercices de construction de machines, des plus simples ou des plus connues aux plus complexes, qui peuvent être inexistantes, ne proposant comme guide que des principes de construction (« *Konstruktionsgesichtspunkte* »),

c'est-à-dire des principes généraux comme « préférer des lignes droites plutôt que des courbes » ou « économiser par synthèse de parties de construction (plutôt une seule pièce que plusieurs assemblées) »¹⁰⁰. En résumé, le pouvoir génératif (les potentialités de conception) sont immenses, bien plus importantes que celles de la méthode de Redtenbacher, mais pour être mobilisées, ces potentialités demandent un certain génie. Le pouvoir conjonctif est donc très faible, et ces méthodes appliquées à l'industrie ont davantage favorisé l'amélioration de la productivité et des processus de fabrication que l'invention de nouvelles machines (ce qui était sans doute recherché), de généralisation du connu efficace plutôt que de l'agrandissement de l'inconnu. Mais n'est-ce pas là justement ce que cherchait à faire Leupold ? Tentons de formaliser le raisonnement du saxon afin de voir comment il se situe dans cette tradition.

Le raisonnement de Leupold formalisé selon la théorie C/K

Nous l'avons dit, Leupold ne propose pas réellement de théorie de la conception. Il n'explicite aucun raisonnement particulier, ni l'usage exact qui devrait être fait de ses théories et descriptions. Il est pourtant évident, au regard de la préface, que la pédagogie de Leupold entend se traduire par une amélioration de la conception de machines chez les artisans, et de la compétence des fonctionnaires saxons. Sa façon de traiter et calculer les machines laisse d'ailleurs penser que c'est cette dernière partie, l'expertise, qui est privilégiée. Mais, comme nous l'avons vu dans le cas de la machine de Freiberg, cette vérification de l'efficacité d'une machine se fait autant sur papier que dans la réalité, devenant un outil de vérification avant la fabrication, dans un temps qui est encore celui du projet et de la conception.

Pour autant, ne peut-on pas aussi reconstruire *a posteriori* un raisonnement de conception, en prenant en compte ce calcul sur papier, et en s'appuyant sur les conseils résumés à la fin du premier tome. S'il n'est pas sûr que ce raisonnement reconstruit n'ait été exactement l'usage souhaité de Leupold, au moins permet-il de montrer une certaine

¹⁰⁰ Cité dans Pascal LE MASSON et Benoît WEIL, « Aux sources de la R&D », *op. cit.*, p. 34. La suite de l'article explore l'émergence, au milieu du XX^e siècle, en Allemagne de l'Est, d'une méthode appelée conception systématique. Reposant sur la définition d'un principe de base (version courte et fondamentale du concept), divisée en sous-principes, cette méthode de conception permettait d'éviter l'effet de fixation (c'est-à-dire la propension des concepteurs à aller vers le connu) et à libérer les possibilités (pouvoir génératif fort), tout en maintenant un pouvoir conjonctif assez fort, par une normalisation du raisonnement de conception.

articulation de son œuvre et l'utilité des diverses règles qu'il met en place, éparses, certes, mais néanmoins existantes. Pour formaliser ainsi le raisonnement de conception sous-jacent de Leupold, nous nous aiderons de la théorie C/K.

L'utilité d'une machine est d'obtenir un mouvement avantageux, aussi est-ce ce besoin qui est d'abord exprimé par un éventuel commanditaire (C). Le concepteur se pose alors des questions permettant de préciser C, selon un processus similaire au dialogue proposé par Redtenbacher. Cela forme une sorte d'idée de base, de *Grundprinzip*, les informations fondamentales étant données par le point 14 : temps de l'usage (temporaire ou long, ponctuel ou continu), énergie disponible et possibilité ou non de diviser la charge. Sans doute, cette idée de base contient-elle aussi une information sur l'objectif de la machine, et donc le tome afférent (élever un poids, élever de l'eau, tourner, moudre, etc.).

À ce stade, il est déjà possible de faire sans doute le premier choix de l'énergie. L'eau est préférée si le travail est long et continu, et que la topographie et l'hydrographie le permettent. Le tome 2 s'ouvre d'ailleurs sur les mesures topographiques à effectuer (K dans K) pour évaluer la possibilité du terrain. Par manque d'énergie hydraulique ou d'une machine au travail temporaire et/ou discontinu, une autre force sera requise. Cependant, rien n'indique, dans un cas comme dans l'autre, le type précis de moteur à utiliser, si ce n'est quelques remarques afférentes sur les volumes. Il est donc possible que le concepteur effectue quelques premières mesures sur l'énergie disponible (déclivité, vitesse du courant), et juge, d'après son expérience, si cela suffit. Ce choix de l'énergie, une opération de K dans C, se fait par défaut (hydraulique si possible, si non : autre chose), et est guidé par quelques mesures et l'expérience du concepteur.

Il s'agit ensuite d'imaginer la combinaison des éléments de la machine. Ici, le concepteur a deux outils. Il peut d'abord choisir le principe fondamental (levier, treuil, etc.), et, pour les machines d'élévations des eaux, le contenant (vis d'Archimède, chaînes de seaux, pompe, etc.). Les exercices et la répétition des informations dans les différents types devraient lui donner l'expérience nécessaire à ce choix, en fonction des besoins exprimés. Il est accompagné par de nombreux conseils.

Puis, le principe fondamental choisi, il peut consulter le chapitre correspondant au type de machines souhaité, dans le tome adéquat. Là encore, ce sont les multiples conseils au sein du catalogue qui devraient lui permettre de choisir le bon modèle. Libre au concepteur ensuite d'adapter la dimension des pièces, le rapport général lui étant toujours donné. Il y a donc des sortes de mini-théories de multiples machines, organisées de façon encyclopédique, dans lequel le concepteur peut venir "piocher". Notons que cela diffère fondamentalement du catalogue d'éléments de von Bach. Leupold propose des combinaisons déjà réalisées.

Le cas échéant, cependant, le concepteur d'une machine nouvelle n'est pas entièrement démuni. Le premier tome lui offre en effet de nombreux mécanismes de références, qu'il peut combiner. Pour cela, il dispose des « quelques règles de mécanique »¹⁰¹ de la fin du premier tome : 36 principes de constructions (« *Konstruktiongesichtspunkte* ») pour le guider dans la conception d'un nouveau chemin cinématique.

Vient ensuite ce qui fait sans doute la plus grande originalité de Leupold par rapport aux périodes antérieures : la vérification de l'efficacité de la machine. C'est en effet le métier de Leupold, son expérience, et sans doute sa façon de penser. C'est aussi ce qui fait que son livre est aussi utile aux artisans-concepteurs qu'aux fonctionnaires-experts. Selon nous, cette vérification se fait en deux parties.

La première partie s'appuie sur les 36 « règles de mécanique », auxquels viennent s'ajouter les conseils disséminés dans les différents tomes et surtout les derniers chapitres des tomes quatre et cinq, qui résument quelques uns des principaux paramètres à prendre en compte pour les machines hydrauliques (tome 4) et les machines élévatoires (tome 5). Dans cette phase, tous ces conseils permettent à Leupold, non pas d'inventer de nouvelles machines, mais de vérifier que les machines proposées obéissent à des principes définis, de pointer les lieux de défaillance, et de proposer des améliorations, ce qu'il ne manque jamais de faire lui-même¹⁰².

¹⁰¹ TM1, §631 et 632. Texte original : „Etliche Regeln zur Mechanik“.

¹⁰² Ce système d'amélioration continu, est semblable au raisonnement qui préside à la TRIZ. Si celle-ci est fondée sur une base de données de brevets soviétiques, les *Theatri* de Leupold disposent de ses nombreuses recensions, et de

La seconde partie de la méthode de Leupold est le calcul, qui occupe une grande part de son œuvre. Ces calculs ne sont toutefois pas du même genre que ceux proposés par Bélidor ou par les ingénieurs français (comme Parent), il n'y a pas de calcul de l'optimum à proprement parlé. Leupold propose au contraire une série d'astuces et de protocoles de mesures, d'expérimentations, de tables de résultats et/ou de calculs, permettant de vérifier si l'énergie fournie est suffisante à procurer l'utilité recherchée. Si le calcul s'avère satisfaisant, alors semble-t-il, la machine peut être construite. En cas d'insuffisance, Leupold ne précise pas exactement quoi faire, mais il semble que le concepteur doive revoir sa copie ; plusieurs choix s'offrant à lui : choisir un nouveau modèle, reprendre simplement les principes de construction et vérifier les points qui pourraient être améliorés, changer d'énergie ou redimensionner moteur ou pièces.

C'est dans ces deux dernières parties que se situe le « langage de l'inconnu » de Leupold. Celui-ci en effet ne donne pas de théories complètes de chaque machines, mais il propose une théorie mécanique générale sur laquelle s'appuient différentes façons de machines, bien éprouvées. Écartons-nous de tout anachronisme : ce qui ne semble qu'un dernier calcul de vérification est à l'époque une véritable nouveauté. Leupold s'adresse en effet à des personnes non formées aux principes de la mécanique, et dont toute la conception repose sur le jugé et la tradition. Le corps des ingénieurs n'est pas encore correctement constitué. Rappelons qu'il écrit dans la décennie 1720, à la fin de sa vie. Bélidor débute à peine ses publications, l'école des Ponts et chaussées n'est créée que 20 ans plus tard, celle de Freiberg, 40 ans plus tard, et les travaux de Gaspard Monge comme les inventions de James Watt ne commencent à se répandre que 50 plus tard¹⁰³. Jusque là, les velléités de mieux former les artisans sont restées lettres mortes, la plupart des travaux étant rédigés par des savants, pour des savants. Proposer aux maîtres-artisans, maître de mines, et autres propriétaires d'exploitations industrielles, premiers concepteurs de machines, les moyens de vérifier, avant la construction, si leur

quelques principes fondamentaux aussi, qui peuvent très bien servir à débloquer les problèmes des machines. La différence fondamentale est que la TRIZ vise à la création de nouveaux produits, là où la méthode de Leupold vise plutôt à améliorer des types de machines existantes.

¹⁰³ Les deux auteurs ont vraisemblablement lus Leupold. La liste des livres de mécanique réclamés par l'école Polytechnique dont Monge fut un des fondateurs comprenait le Leupold. Concernant Watt, François Arago écrit : « Un jour, la solution désirée sembla nécessiter la lecture de l'ouvrage de Leupold sur les machines : Watt apprit aussitôt l'allemand. » (François ARAGO, *Eloge historique de James Watt*, 1834.)

machine fonctionne, et leur donner quelques règles fondamentales pour pointer les défauts de leurs machines et les améliorer, c'est permettre un gain de temps (du moins espère-t-il¹⁰⁴), que rien ne leur permettait auparavant. Raisonement de vérification, accompagné de règles de conceptions, voilà comment nous pourrions qualifier la méthode de Leupold quant à la fabrication ou l'expertises de machines.

En résumé, nous pourrions dire que la méthode de Leupold a un pouvoir génératif médiocre, si nous nous en tenons à l'innovation, mais fort si nous sommes conscients que l'objectif de Leupold est moins d'innover que d'assurer efficacité et fiabilité de ses machines. Son pouvoir conjonctif, en revanche, demeure, malgré son désir, plutôt moyen, le concepteur ne pouvant pas être ignare ou absolument sans moyen (il faut parfois quelques expériences), mais formé et exercé aux machines et à la mécanique : nécessité sur laquelle Leupold fonde son œuvre. Nous avons résumé la reconstruction du raisonnement d'expertise/conception de Leupold dans un tableau (Tableau 22 : p. 450).

Avant de clore cette partie, nous aimerions faire part d'une réflexion plus générale. Ne pourrions-nous voir dans la méthode du catalogue de l'éprouvé une tradition toute allemande de la conception ? Là où les ingénieurs anglais préféraient l'empirisme et l'expérience, et où les ingénieurs français favorisaient la géométrisation et l'algébrisation des problèmes, Leupold propose de réunir les connaissances disponibles, de tous types, de les synthétiser et de les organiser. Une démarche encyclopédique qu'il hérite déjà de Zeising ou Böckler, et que nous retrouvons chez Redtenbacher, et plus encore chez Franz Reuleaux. Le choix de l'éprouvé, voici qui pourrait résumer une piste allemande de la conception, fondée non pas sur la volonté d'innover, mais préférant la fiabilité de produits connus et qu'il faudrait non pas copier tel quel, mais améliorer, à l'aide de règles fournies par le calcul, l'expérimentation ou l'astuce. En ce sens, il n'est pas surprenant que la sphère germanique ait été particulièrement réceptive aux théâtres de machines et à la topique qu'ils développaient. En effet, classée puis explicitée grâce à la statique, la topique devenue catalogue puis encyclopédie offre à l'ingénieur un terreau à partir duquel trouver des solutions éprouvées. La topique, disait Vico, est nécessaire à l'*ingenium*.

¹⁰⁴ La thèse de David Groussard a montré que dans la Bretagne du XVIII^e siècle, le choix des ingénieurs hydrauliciens au détriment des anciens maîtres s'est traduit, dans un premier temps, par une baisse de l'efficacité des installations.

Certes, mais le même philosophe expliquait que la topique accepte le faux. En mêlant topique des machines et science statique, la tradition allemande visait à allier la stimulation de l'*ingenium* à la sécurité d'un résultat calculé et éprouvé.

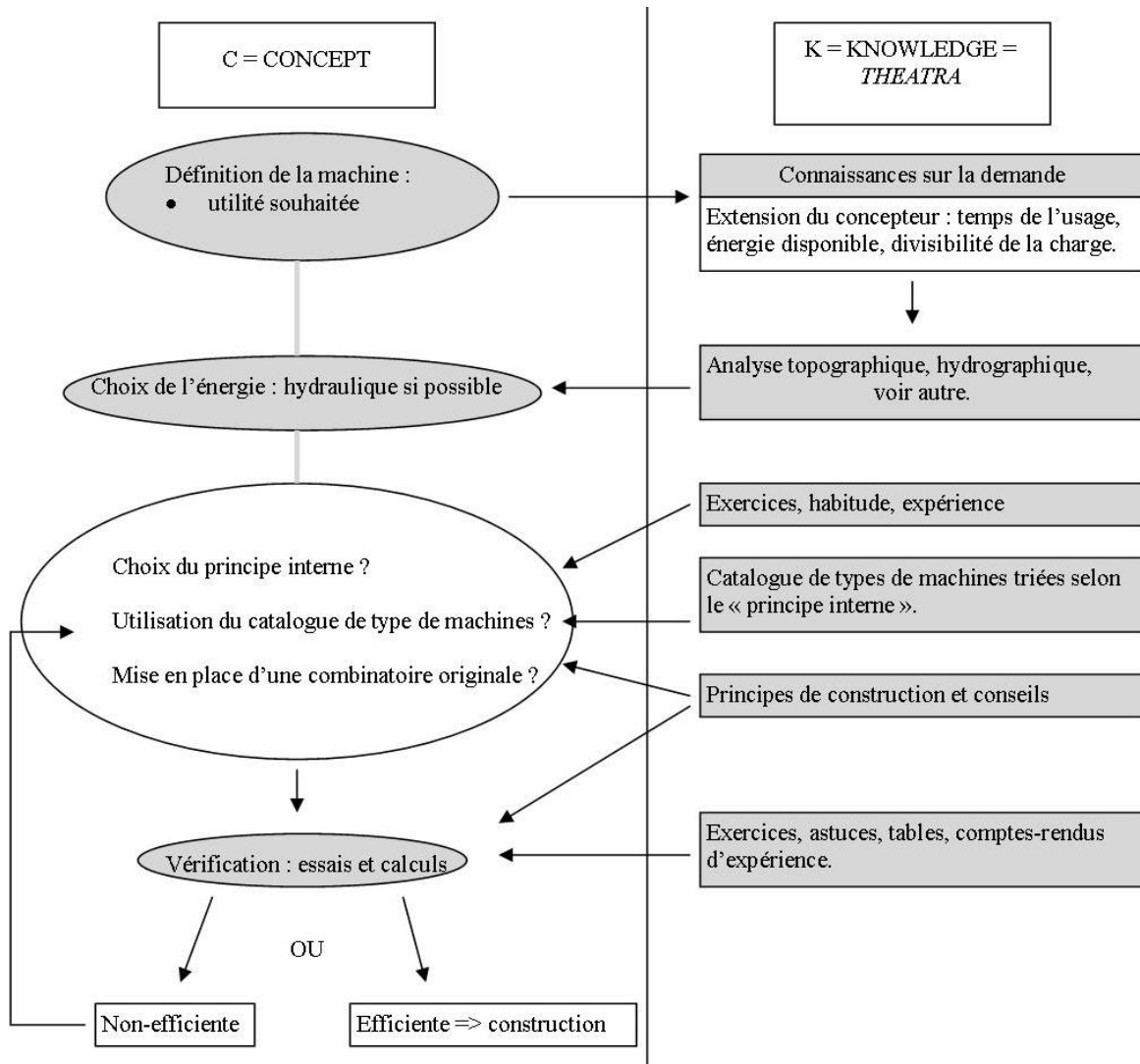


Tableau 22 : Formalisation du raisonnement de conception de Leupold d'après la théorie C/K

Conclusion

Au terme de cette recherche, nous comprenons combien l'impact des théâtres de machines sur la pensée des ingénieurs européens a été jusque là sous-estimé. Si tout le monde s'accordait à dire que ce genre littéraire connut un large succès, rien ne permettait d'en circonscrire les frontières. Loin d'être un simple relai dans les idées mécaniques développées depuis la Renaissance, les théâtres de machines touchaient à l'identité des ingénieurs et au cœur de leur activité : la conception. Les recherches les plus récentes s'étaient penchées, avec succès, sur la pratique effective des ingénieurs de l'époque moderne¹ ; les théâtres de machines, en donnant à voir les idéaux de cette nouvelle classe sociale, nous ont permis d'entrevoir le socle mental, sinon philosophique et méthodologique, sur lequel ces pratiques reposaient. Moins que dire ce que sont les ingénieurs, les théâtres de machines projettent ainsi une image de comment ils se pensent. Apparaissent alors dès cette période les bases d'une identité qui persiste encore aujourd'hui : la conscience d'un travail qui influe sur la prospérité de la société, une formation initiale spécialisée et pointue, la volonté de se positionner au niveau de l'expertise technique auprès du pouvoir, tout en réglant les conditions de la critique au cercle des pairs, et surtout, l'idée d'être avant tout un concepteur. C'est cette position de concepteurs, capables d'anticiper les situations et leurs solutions mécaniques, rationnellement et par le calcul, qui confère aux ingénieurs une position hiérarchiquement et symboliquement supérieure à celle des producteurs. Dans ce cadre, montrer sa capacité d'invention, puis se poser comme un maître expliquant comment concevoir des machines, est ce qui leur permet de justifier leur position. À l'époque moderne, l'objet majeur qui, par son utilité sociale, par son prestige, et par la façon dont il imprègne les modes de pensées, nécessite une pensée rationnelle de la conception, est la machine.

Un des points intéressants de cette histoire, et qui fait sans doute sa particularité, est que cette construction historique d'une identité professionnelle a eu lieu en public, aux

¹ Hélène VERIN, *La gloire des ingénieurs*, op. cit.

yeux de tous. C'est sans doute l'une des raisons pour laquelle les historiens ont eu tant de mal à s'en emparer. Reprenons cette longue histoire qui amène un outil de carrière à devenir le lieu de la construction et de la justification des ingénieurs.

À la Renaissance, le poste d' « ingénieur » n'est pas fixe, il est lié à l' « entreprise » qu'il assure, c'est-à-dire le chantier sur lequel il travaille. Dans une économie de don/contre-don, et pour s'attacher la protection durable du Prince, l'ingénieur lui dédie un ouvrage, qui vise à mettre en avant ses compétences, sous couvert d'une rhétorique présentant son seigneur comme un mécène, protecteur des arts et des sciences. Jacques Besson s'insère dans ce processus de légitimation. La première version imprimée de son livre lisse le discours et accentue le prestige de l'ingénieur en le diffusant à un public de cour intéressé par les machines. De la même façon, les ouvrages similaires de G.B. Isacchi, Jean Errard ou Ambroise Bachot, tirés à peu d'exemplaires, obéissent à la même logique de carrière. L'imprimé a pris le pas sur le manuscrit, mais les logiques (éditions locales, diffusion dans un cercle restreint) sont similaires.

Dans ces premiers ouvrages transparaît un mode d'invention fondé sur la déclinaison de lieux communs mécaniques, parfois au niveau de la machine complète, d'autres fois au niveau d'un mécanisme. Les images, en perspective, visent principalement à témoigner du fonctionnement de la machine dans son environnement. Par ailleurs, les principaux arguments de légitimation de l'ingénieur, ici déclinés au niveau individuel, se mettent en place : inscription dans une généalogie prestigieuse (Archimède, Vitruve), levée du secret, utilité des machines pour l'économie et la société, fondements mathématiques de la conception de machines.

La transformation de ces livres, d'outils de légitimation individuelle en armes de légitimation collective, n'est pas le seul fait des ingénieurs. Il faut toucher un public élargi. Or, si ce projet pouvait exister, comme en témoignent certaines préfaces ambitieuses à un lecteur hypothétique, il nécessitait l'aide et l'intervention de spécialistes de l'édition et la mobilisation d'un capital et d'un réseau plus important que celui dont disposait la plupart des ingénieurs. C'est donc sous l'impulsion d'éditeurs genevois, et d'un humaniste engagé qu'est lancée la première édition d'un théâtre de machines visant un plus large public : celui de Jacques Besson, qui connut un grand succès. En quelques décennies,

porté par d'autres auteurs, non ingénieurs, le discours de légitimation gagne encore en généralité et en visibilité.

Cependant, du fait même de la recherche d'un public plus large, l'impératif pédagogique se renforce. Le texte prend de l'importance. Il vise principalement à décrire le fonctionnement général de la machine dans une vision cinématique, soit du moteur à l'instrument, soit en partant d'un « principe fondamental ». À la fois apogée des livres d'inventions et second grand théâtre de machines, le *Diverse et artificiose machine* d'Agostino Ramelli institue définitivement le genre. S'il obéit encore à une organisation topique, il met en place des outils visuels et textuels (lettre de référence, chemin cinématique) qui permettront au genre de se développer. Cet ouvrage eut en effet une réputation européenne qui perdure jusqu'au milieu du XVIII^e siècle.

De là, le genre en vient à privilégier le commentaire de machines déjà dessinées et, notamment dans le cas de Vittorio Zonca, la description de machines existantes. Les textes reprennent alors le modèle du chemin cinématique institué par Ramelli, parfois complété par des précisions sur la mesure et les matériaux utilisés sur telle ou telle pièce. Surtout, cette nouvelle étape dans le genre induit un changement du mode d'organisation : loin de privilégier l'invention, ces nouveaux théâtres de machines favorisent l'explication. De topique, les ouvrages se font catalogue : l'ordre de succession des images est court-circuité par la mise en place d'outils d'indexation, les descriptions sont complétées par des légendes qui référencent chaque pièce, et les éclatés se multiplient. Le lecteur n'est plus invité à inventer de nouveau à partir des machines du livre, mais à comprendre chaque machine et à mémoriser un catalogue de possibilités mécaniques.

Cependant, dans le cadre d'un enseignement et d'une pédagogie bien comprise, le catalogue, s'il demeure nécessaire, n'est pas pensé comme suffisant. Cela se traduit d'abord dans certains théâtres de machines dès le début du XVII^e siècle. Les *Theatri machinarum*, impulsés par Heinrich Zeising, débutent ainsi par un court traité de statique. *Les Raisons des forces mouvantes* de Salomon de Caus ne se conçoivent pas sans une introduction à la physique aristotélicienne et au fonctionnement des machines simples. De même, lorsque le savant jésuite Johann Terrenz cherche à enseigner la mécanique

européenne à un chinois, il oblige son élève à apprendre d'abord les bases de la géométrie et de la statique européenne, que celui-ci retranscrit dans l'ouvrage de mécanique qu'il rédige.

L'adjonction d'une justification théorique au catalogue ne se développe vraiment que dans l'espace allemand ; les éditeurs et auteurs français et italiens distinguant le théâtre de machines-catalogue du traité de statique, sans chercher à joindre les deux ensemble. Deux lectures différentes sont ainsi faites de cette tradition. La première contient le genre dans celui du catalogue. Cette lecture est notamment celle des collectionneurs de modèles de machines. D'abord privées, ces collections se font publiques vers la fin du XVII^e siècle : soit qu'elles intègrent les collèges qui enseignent la mécanique, soit qu'elles soient présentées au public lors d'exposition ou de façon permanente chez de riches particuliers. Cette lecture-catalogue conduit aussi les académiciens à en faire une référence permettant de juger l'originalité d'une machine. Au XVIII^e siècle, l'éditeur hollandais Pierre Schenck s'inscrit encore dans cette optique du catalogue. Il vise alors à le compléter sur d'autres objets de conception que les machines : les constructions sur l'eau, les moulins à vent, et les escaliers.

La seconde lecture vise à l'adjoindre à un traité de statique: le catalogue n'est pas abandonné, mais il est complété par des approches théoriques issues de la science statique. C'est celle qui prévaut dans l'espace allemand. Cette lecture aboutit, au début du XVIII^e siècle à la publication des *Theatri machinarum* de Jacob Leupold. Ce marchand d'instruments mathématiques saxon y fait la synthèse des connaissances savantes sur les mécaniques, les complète par ses propres expériences, et organise un catalogue de machines. Ces différents tomes entrent en fait dans un large projet d'inspiration caméraliste de formation technique des fonctionnaires, et de formation des ingénieurs.

Malgré le choix d'une langue vernaculaire (l'allemand), le livre connaît un certain succès dans les milieux spécialisés de toute l'Europe, notamment les trois premiers tomes, les plus théoriques de la collection. Les tomes de Leupold demeurent donc des références dans l'histoire de la mécanique. Les écoles d'ingénieurs françaises (Ponts et chaussées, Mines, Polytechnique et même le CNAM) cherchent à en acquérir toute la collection. Pourtant, plusieurs projets de manuels de mécanique se développent au début

du XIX^e siècle, alors que se mettent en place les premiers cours de machines. Deux postures sont alors visibles vis-à-vis de la collection.

La première, celle de Jean-Nicolas-Pierre Hachette à Polytechnique, est de mettre à jour la théorie et d'insister fortement sur ce point. L'aspect catalogue disparaît complètement au profit d'un accent renouvelé sur les modalités du calcul d'effet et du rendement. Cette tradition aboutit à la mise en place du « travail mécanique » comme concept fondamental du calcul mécanique. Si les théâtres de machines sont cités, ce n'est qu'à titre d'information sur l'existence d'une littérature antérieure, en grande partie critiquée.

La seconde, celle de Joseph-Antoine Borgnis au CNAM, est de reprendre le modèle de Leupold, sans le citer, ni le reste des livres du corpus. Borgnis théorise cette lecture et justifie la forme d'un ouvrage différent de celle du traité théorique de Hachette. La monstration de nombreuses machines vise, selon lui, à féconder le génie, comme la topique visait à stimuler l'*ingenium*, cette capacité inventive. La méthode est cependant élargie à d'autres machines. Les théâtres de machines focalisaient leur attention sur l'adduction d'eau et la construction, Borgnis ajoute à ces domaines l'ensemble des machines utilisées dans l'industrie : il s'agit de favoriser l'innovation industrielle. La théorie n'est pas absente, mais elle sert à cadrer l'inventivité, en complément. Reprenant le principe des théâtres de machines, tout en finalisant et la méthode de conception et la théorie sous-jacente, l'œuvre de Borgnis rend obsolète la tradition antérieure.

Ces deux lectures et les ouvrages auxquels elles donnent naissance finissent d'éteindre l'intérêt des théâtres de machines pour les ingénieurs du XIX^e siècle. Pour autant, un troisième mode d'appropriation de ces ouvrages, sur le mode de la bibliophilie continue de se développer. Ayant pris son essor au XVIII^e siècle, la collection de livres pour des raisons esthétiques amène certains riches bibliophiles lyonnais et parisiens à entrer en possession de ces livres aux belles gravures de machines. Leupold est absent de cet engouement, mais Besson, Ramelli, Zonca et Böckler en profitent largement. C'est en grande partie par l'intermédiaire de cette patrimonialisation privée que nous sont parvenus aujourd'hui plusieurs exemplaires des ouvrages de ce genre littéraire.

Dès la fin du XIX^e siècle et les débuts de l'institutionnalisation de la science historique, les théâtres de machines sont utilisés comme sources pour l'histoire des inventions. Cette thèse même témoigne de l'actualité toujours renouvelée de ces sources pour l'historiographie. Il serait cependant intéressant, au moment où la numérisation des documents et les outils d'indexation des images risquent de privilégier de nouveau une lecture discontinue de ces ouvrages, de mettre en valeur ce patrimoine. Cette tradition littéraire, en effet, a eu plus d'impact sur la pensée mécanique européenne que les dessins de Léonard de Vinci ou des italiens du XV^e siècle, qui font l'objet de nombreuses expositions. Présenter au public ces ouvrages, dans leur aspect matériel, permettrait sans doute de leur rendre leur cohérence, de faire sentir leur poids et l'occasion d'expliquer leur influence sur la construction de l'identité des ingénieurs, dont nous voyons qu'ils sont devenus aujourd'hui l'une des figures majeures de la modernité.

Index des figures

Figure 1 : « la première figure d'élévation de l'eau » tirée de Wang Zheng et Johann Terrenz Schreck, <i>Yuanzi Qiqi Tushuo Luzui</i> (Pékin, 1627), chapitre 3 ; et l'illustration du chapitre 45 de Agostino Ramelli, <i>Le diverse et artificiose machine</i> (Paris, 1588)	70
Figure 2 : « la quatrième figure d'élévation de l'eau » tirée de Wang Zheng et Johann Terrenz Schreck, <i>Yuanzi Qiqi Tushuo Luzui</i> (Pékin, 1627), chapitre 3 ; et extrait de l'illustration du chapitre 73 de Agostino Ramelli, <i>Le diverse et artificiose machine</i> (Paris, 1588).....	72
Figure 3 : Figure XII de Heinrich Zeising, <i>Theatrum machinarum erster theill</i> (Leipzig, 1612)	77
Figure 4 : Planche 30 de Jacques Besson, <i>Theatrum instrumentorum et machinarum</i> (Lyon [Genève], 1578).....	119
Figure 5 : Illustration du problème 22 de Salomon de Caus, <i>Les Raisons des forces mouvantes</i> (Francfort, 1615)	120
Figure 6 : Planche 43 de Gaspard Grolier de Servières, <i>Recueil d'ouvrages curieux de mathématique et de mécanique</i> (Lyon, 1719)	123
Figure 7 : « Pour élever l'Eau pour arrouser des Prairies & pour d'autres usages. Besson. Planche 12 de [Jean-Baptiste Picot], <i>Explication des modeles des machines et forces mouvantes que l'on expose à Paris</i> (Paris, 1683) ; et planche 46 de Jacques Besson, <i>Theatrum instrumentorum et machinarum</i> (Lyon [Genève], 1578)	131
Figure 8 : « Moulin pour percer des tuyaux de bois, ou pour arrondir l'âme des canons nouvellement fabriquéz. Salomon de Caux », planche 3 de [Jean-Baptiste Picot], <i>Explication des modèles des machines et forces mouvantes</i> (Paris, 1683)	133
Figure 9 : Sébastien Le Clerc, <i>Cabinet de l'artiste</i> , 1711, Bibliothèque nationale de France	136
Figure 10 : Actuel lycée Ampère et annexes, anciens bâtiments du collège de la Trinité et de la bibliothèque de Camille de Neufville	141
Figure 11 : Place de la technologie dans les connaissances d'après Borgnis	163

Figure 12 :	Transmission de certains dessins mécaniques de Francesco di Giorgio Martini à Giuseppe Antonio Borgnis	164
Figure 13 :	Bandeau typographique utilisé dans Fausto Veranzio, <i>Machinae Novae</i> (Venise, vers 1595)	173
Figure 14 :	Frontispice de la première partie des <i>Kunstliche Abriss</i> de Jacob Strada (Francfort, 1617).....	175
Figure 15 :	Frontispice des <i>Raisons des forces mouvantes</i> de S. de Caux (Francfort, 1615)	176
Figure 16 :	Recherche d'Errard sur le treuil d'Archimède. Figure 7 de J. Errard, <i>Le premier livre des instruments mathématiques et mécaniques</i> (Nancy, 1584).	177
Figure 17 :	Comparaison de Jacques Gentilhâtre, <i>Traité d'architecture</i> (début XVIIe siècle), de la planche 54 de Jacques Besson, <i>Theatrum instrumentorum et machinarum</i> (Lyon [Genève], 1578), et la planche 7 de Jean Errard, <i>Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques</i> (Nancy, 1584)	187
Figure 18 :	Pupitre de Jacques Besson, planche 42 de son <i>Theatrum instrumentorum et machinarum</i> (Lyon [Genève], 1578)	243
Figure 19 :	Fontaine aéolique de Jacques Besson, planche 51 de son <i>Theatrum instrumentorum et machinarum</i> (Lyon [Genève], 1578)	244
Figure 20 :	Pompe d'Agostino Ramelli, illustration du chapitre 42 de son <i>Diverse et artificiose machine</i> (Paris, 1588)	249
Figure 21 :	Roue à livres d'Agostino Ramelli, illustration du chapitre 188 du <i>Diverse et artificiose machine</i> (Paris, 1588)	250
Figure 22 :	Logique de succession des machines dans <i>Le diverse et artificiose machine</i> d'Agostino Ramelli (Paris, 1588).....	252
Figure 23 :	Extincteur de Jacques Besson, version manuscrite de son <i>Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques</i> (vers 1570) ; et Pompe à feu de Heinrich Zeising, <i>Theatrum machinarum ander theill</i> (Leipzig, 1612), figure 22...	260
Figure 24 :	Vis d'Archimède classique. Livre 2, figure V de G. Branca, <i>Le Machine</i> (Rome, 1629). Le moteur n'est pas représenté.	262
Figure 25 :	Moyens d'élever l'eau détournés et utilisés comme moteur pour des meules. Figure 16, 17 et 32 de Giovanni Branca, <i>Le Machine</i> (Rome, 1629)	263

Figure 26 : Moyens de transformer un mouvement rotatif continu en mouvement linéaire alternatif	267
Figure 27 : Planche 30 ^e de la version manuscrite du livre de Jacques Besson, et planche 27 de sa version imprimée	276
Figure 28 : Exemples de « cutaway view » : planche 15 de Jean Errard, <i>Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques</i> (Nancy, 1584) ; et illustration du chapitre 72 d'Agostino Ramelli, <i>Le diverse et artificiose machine</i> (Paris, 1588)...	282
Figure 29 : Exemples de séparation des espaces : planche 88 de Jacob Strada, <i>Desseins artificieux</i> (Francfort, 1617) ; et page 68 de Vittorio Zonca, <i>Novo teatro di machine et edificii</i> (Padoue, 1607)	283
Figure 30 : Exemple de bâti aérien : illustration du problème 3 de Salomon de Caus, <i>Les Raisons des forces mouvantes</i> (Francfort, 1615)	284
Figure 31 : Présentation de meule à pulvériser la poudre : page 26 de Vittorio Zonca, <i>Novo Teatro di machine et edificii</i> (Padoue, 1607)	285
Figure 32 : Différents exemples de « visites » dans Heinrich Zeising, <i>Theatri Machinarum</i> (Leipzig, 1612-1613) : planche 12 (a) du second tome, planches 22 (b) et 16 (c) du quatrième tome et planche 15 (d) du premier tome.....	287
Figure 33 : « Moulin à aiguiser », intérieur d'un atelier de coutelier, dans Vittorio Zonca, <i>Novo Teatro di machine et edificii</i> (Padoue, 1607)	291
Figure 34 : Une machine à élever l'eau et son « orthographe ». Problèmes 3 et 4 de Salomon de Caus, <i>Les Raisons des forces mouvantes</i> (Francfort, 1615).....	293
Figure 35 : Règle « en queue d'hyronde », règle « lesbienne ou servile », « limaçon », dans le manuscrit de J. Besson (vers 1570), respectivement planche 2, 1 et 35 .	300
Figure 36 : Planche 10 de Jacques Besson, <i>Theatrum instrumentorum et machinarum</i> (Lyon [Genève], 1578).....	302
Figure 37 : Extrait de la planche XXI de Jacob Leupold, <i>Theatrum Machinarum Generale</i> , Leipzig, 1724.	347
Figure 38 : Extrait de la planche 8 de J. Leupold, <i>Theatrum machinarum generale</i> (Leipzig, 1724), sur la poulie.	364
Figure 39 : Extrait de la planche I de Jacob Leupold, <i>Theatrum Machinarum Generale</i> , Leipzig, 1724	369

Figure 40 :	Planche VII de J. Leupold, <i>Theatrum Machinarium</i> (TM5, Leipzig, 1725)	371
Figure 41 :	Calcul du périmètre de roues d'un diamètre de 6 et de 8 pieds (TM1, §87)	378
Figure 42 :	Méthode "mécanique" pour déterminer le périmètre d'une roue dentée en fonction de son diamètre (TM1, planche 14)	378
Figure 43 :	Schéma du levier par Jacob Leupold, complété par nos soins. Extrait de J. Leupold, <i>Theatrum Machinarum Generale</i> , 1724 planche 1, figure 1.....	385
Figure 44 :	Machine expérimentale pour mesurer l'efficacité du plan incliné. Figure 1 de la planche 17 de Jacob Leupold, <i>Theatrum machinarum generale</i> (Leipzig, 1724)	394
Figure 45 :	Comparaison des machines expérimentales de Gravesand et Leupold pour mesurer l'efficacité des coins. Figures 3 à 7 de la planche 17 de Jacob Leupold, <i>Theatrum machinarum Generale</i> (Leipzig, 1724)	395
Figure 46 :	Machine à tailler les petites roues dentées. Jacob Leupold, <i>Theatrum machinarum generale</i> (Leipzig, 1724), planche 15, figures 1 à 6. Les figures suivantes présentent une machine pour les grosses roues dentées	397
Figure 47 :	« Amélioration » de Sturm pour éviter le frottement d'un piston actionné par une bielle-manivelle, dans Jacob Leupold, <i>Theatrum machinarum generale</i> (Leipzig, 1724) planche 30, figure 16 à 18.....	407
Figure 48 :	Schéma pour calculer l'effet d'une roue à eau verticale à alimentation par-dessus dans Jacob Leupold, <i>Theatrum machinarum generale</i> (Leipzig, 1724), planche 63, fig 2	410
Figure 49 :	Machine d'exhaure dans Jacob Leupold, <i>Theatrum machinarum generale</i> (Leipzig, 1724), planche 71.	421
Figure 50 :	Coupe de profil et de dos d'une grue. Planches 29 et 30 de Jacob Leupold, <i>Theatrum Machinarium</i> (Leipzig, 1725)	432
Organisation de la base de données « Machines 1.7 »		CXI

Index des tableaux

Tableau 1 :	Rôle des images de machines.....	23
Tableau 2 :	Panorama des <i>Theatri Machinarum</i> de Jacob Leupold, 1724-1739.	80
Tableau 3 :	Nombre d'éditions par langue, triés chronologiquement.....	90
Tableau 4 :	Éditions de théâtres de machines, par langue (hors séries : Zeising, Leupold, Schenck).....	92
Tableau 5 :	Total des notices de théâtres de machines sur le site " <i>European Library</i> "	93
Tableau 6 :	Nombre d'exemplaires par langue (hors séries : Zeising, Leupold, Schenck)	95
Tableau 7 :	Nombre d'éditions par auteur (hors séries : Zeising, Leupold, Schenck)	96
Tableau 8 :	Nombre d'exemplaires par auteurs (hors séries : Zeising, Leupold, Schenck)	97
Tableau 9 :	Commentaires de Debure et Osmont sur les théâtres de machines (classés par prix)	107
Tableau 10 :	Caractéristiques et avantages de la machine.....	182
Tableau 11 :	Similarité d'une machine à l'autre selon les éléments/mécanismes ..	240
Tableau 12 :	Similarité d'une machine à l'autre selon les fonctions internes.....	240
Tableau 13 :	Similarité d'une machine à l'autre selon les pièces	240
Tableau 14 :	Taux de connaissance du vocabulaire mécanique dans la littérature mécanique d'après la DMD	265
Tableau 15 :	Taux de connaissance du vocabulaire mécanique dans les théâtres de machines d'après la DMD	266
Tableau 16 :	Usage de la perspective et de la mise en scène dans la littérature mécanique	277
Tableau 17 :	Représentation des personnages dans la littérature mécanique	279
Tableau 18 :	Taux d'usage de l'éclaté en perspective dans les théâtres de machines	290
Tableau 19 :	Usage des lettres de références et d'une explication en termes de chemin cinématique dans les théâtres de machines	296

Tableau 20 : Précisions apportés sur les machines et leurs éléments dans les théâtres de machines	298
Tableau 21 : Volume d'eau par colonne dans une roue verticale à augets, d'après Jacob Leupold, §534, <i>Theatrum Machinarum Generale</i> , 1724.....	411
Tableau 22 : Formalisation du raisonnement de conception de Leupold d'après la théorie C/K	450

Bibliographie

Abréviation utilisée : T&C pour *Technology and Culture*

Autres sources

Concernant les théâtres de machines, nous renvoyons en Annexe 1 : p. III pour les notices complètes et les exemplaires consultés. De même, pour les catalogues de ventes, nous renvoyons en Annexe 6 : p. CCI.

Archives

ROCHAS D'AIGLUN Albert de, *Recueil de documents relatifs aux origines de la bibliothèque de l'École polytechnique*, 1890, école Polytechnique, cote Rés. EP Y183, 201 p.

Catalogue de la bibliothèque du grand collège de Lyon, 1767, bibliothèque municipale de Lyon, cote Ms 1459/1460/1461, microfilm de 1986.

Catalogue des livres doubles produits par la réunion de la bibliothèque publique de Lyon, avec celle du Grand Collège de la même ville, & autres, dont la Vente sera faite en détail & au plus offrant, Lyon, chez Benoît Duplain, 1767, exemplaire de la bibliothèque municipale de Lyon, cote 371371 (tome 14).

Inventaire des instruments et effets de l'observatoire du collège, 1764, archives départementales du Rhône, section ancienne, pièce 2D65.

Inventaire général du cabinet d'Antiquités et de Médailles du collège de la Trinité, 1765, bibliothèque municipale de Lyon, cote Ms 1645.

Lives provenans du Jury des armes mis à la disposition de l'agence des Mines, copie de l'arrêté de la Commission des armes et poudres de la République une et indivisible du 6 floréal de l'an 3, école des Mines, texte transcrit mis à disposition par la conservatrice du fond ancien, Mme Maisonneuve.

Ouvrages consultés (XV^e-XIX^e)

GALLON, *Machines et inventions approuvées par l'Académie royale des sciences, depuis son établissement jusqu'à présent; avec leur description.*, 1701.

AGRICOLA Georg, *De re metallica libri XII: Eiusdem de animantibus subterraneis liber*, Bâle, Froben, 1556.

AMONTONS Guillaume, « De la résistance causée dans les machines tant par les frottements des

parties qui les composent que les raideurs des cordes qu'on emploie et de la manière de calculer l'une et l'autre », *Histoire et mémoires de l'académie des sciences*, 1732, vol. 1699.

APPIER HANZELET Jean, *La pyrotechnie de Hanzelet : Lorrain ou sont représentés les plus rares & plus apprenez secrets des machines & des feux artificiels. Propres pour assiéger battre surprendre & deffendre toutes places*, Pont a Mousson, Gaspard Bernard, 1630, 264 p.

ARAGO François, *Eloge historique de James Watt*, 1834.

ARCHIMEDE et FORCADEL Pierre Traduction, *Le Livre d'Archimède des pois qui aussi est dict des choses tombantes en l'humide, traduit et commenté par Pierre Forcadel de Bezies*, Paris, France, Ch. Périer, 1565, 35 p.

ARISTOTE, *Catégories: De l'interprétation*, Vrin, 1994, 180 p.

ARISTOTE et TRICOT Jules, *Organon*, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, coll. « Bibliothèque des textes philosophiques, ISSN 0249-7972 », 1983, 6 tomes et 5 vol. p.

BARBARO Daniele (dir.), *I Dieci libri dell'Architettura di M. Vitruvio tradutti et commentati da Monsignor Barbaro*, Vinegia, Francesco Marcolini, 1556.

BELIDOR Bernard Forest, *Architecture hydraulique, ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les besoins de la vie*, Paris, Charles-Antoine Jombert, 1737.

BELIDOR Bernard Forest et NAVIER Claude, *Architecture hydraulique*, Paris, Firmin Didot, 1819.

BELIDOR Bernard Forest et WOLFF Christian, *Architectura hydraulica*, Augsbourg, Mertz, 1740.

BERCKENMEYER Paul Ludolph, *Le curieux antiquaire, ou Recueil géographique et historique des choses les plus remarquables qu'on trouve dans les quatre parties de l'univers*, Leide, Pierre Vander, 1729.

BERCKENMEYER Paul Ludolph, *Vermehrter Curieuser Antiquarius, Das ist: Allerhand auserlesene Geographische und Historische Merckwürdigkeiten So in denen Europæischen Ländern zu finden*, Hamburg, Schiller, 1712.

BERTHELOT Claude-François, *La mécanique appliquée aux arts, aux manufactures, à l'agriculture et à la guerre*, Paris, Demonville, 1782.

BESSON Jacques, *L'art et science de trouver les eaux et fontaines cachées sous terre, autrement que par les moyens vulgaires des agriculteurs & architectes*, Orléans, Pierre Trepperel, 1569.

BESSON Jacques, *Le cosmolabe*, Paris, 1567.

BIRINGUCCIO Vanoccio, *De La Pirotechnia: Libri. X.*, Venise, Navo, 1540.

BORGNIS Joseph-Antoine, *Traité complet de mécanique appliquée aux arts*, Paris, Bachelier, 1818.

BRANCA Giovanni, *Manuale d'architettura : breue, e risoluta prattica*, Ascole, M. Saluioni, 1629.

CAMILLO Giulio, BOLZONI Lina et RAVENTÓS Jordi, *La idea del teatro*, Madrid, Siruela, 2006.

CARDAN Jérôme, *De rerum varietate libri XVII*, Bâle, H. Petri, 1557.

CAUS Isaac de, *Nouvelle invention de lever l'eau: plus hault que sa source avec quelques machines mouantes par le moyen de l'eau et un discours de la conduit d'ycelle*, Londres, 1644.

CAUS Isaac de, *Nouvelle invention de lever l'eau plus haut que sa source*, A Londres, Imprimè pour Thomas Davies, 1657.

CAUS Salomon de, *Institution harmonique*, Francfort, Jan Norton, 1615.

CESARIANO Cesare (dir.), *Di Lucio Vitruvio Pollione De Architectura libri dece traducti de latino in uulgare per G. Cesariano.*, 1521.

CICERON, *Les Topiques*,
http://www.mediterranees.net/art_antique/rhetorique/ciceron/topiques.html, traduit par DELCASSO, consulté le 26 février 2013.

CICERON et ACHARD Guy, *De l'invention*, Paris, Les Belles Lettres, coll. « Collection des universités de France. Série latine, ISSN 1275-4226 ; 320 », 1994, 244 p., pagination double p.

DEBURE Guillaume-François (le jeune), *Bibliographie instructive ou Traité de la connoissance des livres rares et singuliers*, Paris, Guillaume-François De Bure le jeune, 1763.

DIDEROT Denis, *Oeuvres T. 2,1 Dictionnaire encyclopédique AB-CY*, Paris, Belin, 1818.

DIDEROT Denis et D'ALEMBERT Jean le Rond, *L'Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des arts et métiers*, Paris, Briasson, 1751.

GALILEI Galileo, ROCHOT Bernard et MERSENNE Marin, *Les Mechaniques de Galilée avec plusieurs additions rares, et nouvelles, utiles aux architectes, ingénieurs, fonteniers, philosophes, et artisans*, Paris, Presses universitaires de France, 1966.

GAUTHIER Hubert, *Traité des ponts*, Paris, André Cailleau, 1723.

GENTILHATRE Jacques, *[Traité d'architecture] Manuscrit sans titre*, BnF, Cote ms.fr. 14727, 1615.

GROLLIER DE SERVIERES Gaspard II, *Recueil d'ouvrages curieux de mathématique et de mécanique; ou, Description du cabinet de Monsieur Grollier de Servièrè.*, Lyon, D. Forey, 1719.

HACHETTE Jean-Nicolas-Pierre, *Traité élémentaire des machines*, par M. Hachette, France, Klostermann, 1811, 304 p.

HERON, ARGOUD Gilbert et GUILLAUMIN Jean-Yves, *Les Pneumatiques d'Héron d'Alexandrie*, Saint-Étienne, Publications de l'Université de Saint Étienne, 1997.

JUNGENICKEL Andreas, *Schlüssel zur Mechanica/ Das ist: Gründliche Beschreibung der Vier HauptInstrumenten der Machination, als deß Hebels, Getriebs, Schrauben, Kloben : In einem*

Gespräch, zwischen einem Ingenier und Mechanico, verfasset, und mit 137. Figuren vorgestellt, Nürnberg, Fürst.

KYESER Conrad, *Bellifortis*, Manuscrit, 1405.

L'ORME Philibert de, *Nouvelles inventions pour bien bastir et a petits fraiz*, Paris, Federic Morel, 1561.

LEUPOLD Jacob, *Prodomus bibliothecae metallica, oder Verzeichnis der meisten Schriften, so von Dingen, die ad regnum minerale gezehlet werden, handeln... corrigirt, ferner fortgesetzt und vermehrt worden von Franc. Ernest Bruckmann*, 1732.

LORINI Buonaiuto, *Le fortificationi*, Venise, Rampazetto, 1609.

MARTIN Jean (dir.), *Architecture, ou art de bien bastir de Marcus Vitruve Pollion [...] mis de latin en françois, par Jean Martin*, Genève, Jean de Tournes, 1618.

MARTINI Francesco di Giorgio, *Trattati di architettura ingegneria*, Manuscrit, 1484.

MONTE Guidubaldo DEL, *Mecanicorum liber.*, Venetia, 1615.

MORLAND Samuel, *Élévation des eaux par toute sorte de machines, réduite à la mesure, au poids, à la balance*, Paris, Gabriel Martin, 1685.

NAIGEON Jacques André, *Œuvres de Denis Diderot.*, Paris, Brière, 1821.

NAUDE Gabriel, *Advis pour dresser une bibliothèque présenté à Mgr. le Président de Mesme*, Paris, Targa, 1627.

OSMONT Jean-Baptiste, *Dictionnaire typographique, historique et critique des livres rares, singuliers, estimés et recherchés en tous genres ; contenant par ordre alphabétique, les noms & surnoms de leurs auteurs, le lieu de leur naissance, le temps où ils ont vécu, & celui de leur mort, avec des remarques nécessaires pour en distinguer les bonnes éditions, & quelques anecdotes historiques, critiques & intéressantes, tirées des meilleures sources. On y a joint le prix qu'ils se vendent la plupart dans les ventes publiques.*, Paris, Lacombe, 1768.

[PICOT] Jean-Baptiste, *Explication des modeles des machines et forces mouvantes que l'on expose à Paris dans la rue de la Harpe, vis-à-vis Saint Cosme*, Paris, C. Guillery, 1683.

PLUTARQUE, « Tome 5 : Vie de Marcellus », in *Vie des hommes illustres*, traduit par D. RICARD, Paris, Bibliothèque des arts et des lettres, 1830.

POYNET Raymond, *Le Cosmolabe.*, Paris, M. Julien, 1566.

REULEAUX Franz, *Cinématique, principes fondamentaux d'une théorie générale des machines.*, Paris, Librairie F. Savy, 1877.

REULEAUX F., *Le Constructeur. Tables, formules, règles, calculs tracés et renseignements pour la construction des organes de machine*, Paris, Savy, 1873.

- REULEAUX F., *Lehrbuch der kinematik*, Braunschweig, Allemagne, F. Vieweg, 1875.
- RIVIVS Gualtherus H. (dir.), *Marci Vitruvii Pollionis Zehen Bücher von der Architectur und kunstlichem Bawen [...] Erstmals verteutscht unnd in Truck verordnet*, Bâle, S. Henricpetri, 1575.
- RIVIVS Gualtherus H., *Von rechtem Verstand, Waage und Gewicht etliche Büchlein zu sonderlichem verstandt Künstlicher Mechanischer invention der Geometrischen messung angehenckt*, Gedr. durch G. Heyn, 1560, book p.
- SCAPPI Bartolomeo, *Opera [...] in sei libri*, Venise, 1570.
- SCHOTT Gaspar, *Gasparis Schotti technica curiosa: sive mirabilia artis, libris XII*, Nüremberg, Endter, 1664.
- STURM Leonard Christoph, « Observationes circa frictionem Machinarum », in *Miscellanea Berolinensia*, Berlin, J.C. Papenii, 1710, pp. 294–307.
- STURM Leonhard Christoph, *Architectura Civili-Militaris*, Augsbouurg, Jeremiah Wolff, 1719.
- TACCOLA Mariano, *De Ingeneis*, Manuscrit, 1430.
- TACCOLA Mariano, *De Machinis*, Manuscrit, 1430.
- VALTURIN Robert, *De Re Militari*, Manuscrit, 1466.
- VARIGNON Pierre (1654-1722), *Nouvelle mécanique, ou Statique, dont le projet fut donné en M. DC. LXXXVII. Tome 1 / ; ouvrage posthume de M. Varignon,...*, C. Jombert (Paris), 1725.
- VERANZIO Fausto, *Dictionarivm qvinque nobilissimarvm Evropæ lingvarvm, latinæ, italicæ, germanicæ, dalmatiæ*, Venise, Nicolas Morretum, 1595.
- VICO Giambattista, *La méthode des études de notre temps*, traduit par Alain PONS, 1708.
- VINCI Léonard de, *Manuscrits*.
- VITRUVÉ, *Vitruvius Teutsch - Nemlichen des aller namhafftigen und hocheffarnesten Römischen Architecti, und Kunstreichen Werck oder Bawmeisters, Marci Vitruvij Pollionis, Zehen Bücher von der Architectur und künstlichem Bawen*, traduit par Walther Hermann RYFF, Nürnberg, Allemagne, Petreius, 1548.
- WAHL Ferdinand François, *Traité de l'elevation des eaux : avec des figures*, Munich, Riedl, 1716.
- WOLFF Christian, *Cours de mathématiques: qui contient toutes les parties de cette science, mises à la portée des commençans*, Paris, 1747.
- WOLFF Christian, *Philosophia rationalis sive logica*, Francfort, 1728.
- WOLFF Christian, *Auszug aus den Anfangs Gründen aller mathematischen Wissenschaften*, Halle, 1713.

WOLFF Christian, *Anfangs-gründe aller Mathematischen Wissenschaften*, Halle, 1710.

WOLFF Christian, *Philosophia practica universalis, mathematica methodo conscripta, indultuque superiorum*, Leipzig, Goezl, 1703.

Descriptions des arts et métiers, faites ou approuvées par Messieurs de l'Académie royale des sciences de Paris, Neufchatel, Calixte Volland, 1771.

Le cabinet des beaux-arts, ou Recueil d'estampes gravées d'après les tableaux d'un plafond où les beaux-arts sont représentés . Avec l'explication de ces mêmes tableaux, G. Edelinck (Paris), 1690.

Outils de travail

Dictionnaires, dictionnaires biographiques et recueils de références

BRULLIOT Franz, *Dictionnaire des monogrammes, marques figurées, lettres initiales, noms abrégés etc: avec lesquels les peintres, dessinateurs, graveurs et sculpteurs ont désigné leurs noms*, J.G. Cotta, 1832, 610 p.

BRUNOT Ferdinand, *XVIIIe siècle: le mouvement des idées et les vocabulaires techniques*, Colin, 1930, 519 p.

DOURSTHER Horace, *Dictionnaire universel des poids et mesures anciens et modernes contenant des tables des monnaies de tous les pays*, Bruxelles, Hayez, 1840.

GAFFIOT Félix, *Dictionnaire illustré latin-français*, Paris, Hachette, 1934.

GUIFFREY Jules (1840-1918), *Artistes parisiens des XVIe et XVIIe siècles : donations, contrats de mariage, testaments, inventaires, etc., tirés des insinuations du Châtelet de Paris*, Paris, Impr. nationale, 1915.

RENOUARD Philippe et PARIS Paris (France) Service des travaux historiques de la ville de, *Imprimeurs et libraires parisiens du XVIe siècle*, Librairie Droz, 674 p.

MICHAUD FRERES *Biographie universelle ancienne et moderne ou Histoire, par ordre alphabétique, de la vie publique et privée de tous les hommes qui se sont fait remarquer par leurs écrits, leurs actions, leurs talents, leurs vertus ou leurs crimes: MAZ-MIC*, 1821, 652 p.

Deutsches Wörterbuch, éd. Bertelsmann Lexicon Institut, coll. Wahrig, 2008

Dictionnaire universel françois et latin dit Dictionnaire de Trévoux, Nancy, Pierre Antoine, 1740.

Dictionnaire de l'académie française - 1ère édition, Paris, Coignard, 1694.

Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, <http://www.cnrtl.fr/>, consulté le 10 mai 2013.

Le Petit Robert, éd. Dictionnaire Le Robert, 2004

Sächsische Biografie / ISGV, <http://saebi.isgv.de/s/projekt.php>, consulté le 25 avril 2013.

Histoires générales des techniques

DAUMAS Maurice, *Histoire générale des techniques*, Paris, Presses universitaires de France, 1962.

FELDHAUS Franz Maria, *Die Technik der Vorzeit : der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker*, Leipzig, W. Engelmann, 1914, 1400 col. p.

GILLE Bertrand, *Histoire des techniques : technique et civilisations, technique et sciences*, [Paris], Gallimard, coll. « Encyclopédie de la Pléiade », 1978, 1652 p.

SINGER Charles, HOLMYARD Eric John, HALL Alfred Rupert et HOLMYARD E. J., *A History of technology, from Renaissance to the industrial revolution, 1500-1750*, Oxford, University Press, 1957.

USHER Abbott Payson, *A history of mechanical inventions*, New York, McGraw-Hill Book Co., 1929.

Sites internet de référence

MAX PLANCK INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTSGESCHICHTE (MPWIG), *European Cultural Heritage Online (ECHO)*, <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/content>, consulté le 13 mai 2013.

Architectura, <http://architectura.cesr.univ-tours.fr/index.asp>, consulté le 8 mai 2013.

The European Library, <http://www.theeuropeanlibrary.org/tel4/>, consulté le 8 mai 2013.

Outils conceptuels

Sur les méthodes historiques et l'écriture d'une thèse

BERR Henri, *La synthèse en histoire; son rapport avec la synthèse générale*, Paris, A. Michel, 1953.

FARGE Ariette, « Écrire l'histoire », *Hypothèses*, 2003, n° 1, pp. 317-320.

GUERREAU-JALABERT Anita, « « Conclusions » », *Hypothèses*, 2003, n° 1, pp. 355-362.

HIRSCH Bertrand, « L'étrangeté des sources », *Hypothèses*, 2003, n° 1, pp. 321-329.

KUCHENBUCH Ludolf, « Sources ou documents ? », *Hypothèses*, 2003, n° 1, pp. 287-315.

MORSEL Joseph, « Les sources sont-elles « le pain de l'historien » ? », <http://www.cairn.info/>, [NUMERO_DATE_PUBLICATION], n° 1, pp. 271-286.

NOUGARET Christine, « Les sources archivistiques », *Hypothèses*, 2003, n° 1, pp. 331-339.

RYGIEL Philippe, « Les sources de l'historien à l'heure d'Internet », *Hypothèses*, 2003, n° 1, pp. 341-354.

ZAKI Lamia, « L'écriture d'une thèse en sciences sociales : entre contingences et nécessités », <http://www.cairn.info/>, [NUMERO_DATE_PUBLICATION], n° 65, n° 4, pp. 112-125.

Sur l'histoire des techniques

BERTRAND Olivier, GERNER Hiltrud et STUMPF Béatrice, *Lexiques scientifiques et techniques: constitution et approche historique*, Editions Ecole Polytechnique, 2007, 276 p.

BURLINGAME Roger, « The Hardware of Culture », *Technology and Culture*, 1 Décembre 1959, vol. 1, n° 1, pp. 11-19.

CHOUTEAU Marianne et NGUYEN Celine, *Mises en Recit de la Technique*, Archives contemporaines, 134 p.

CRAWFORD Matthew B., *Éloge du carburateur essai sur le sens et la valeur du travail*, Paris, la Découverte, 2010.

DAUMAS Maurice, « L'histoire des techniques : son objet, ses limites, ses méthodes », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1969, vol. 22, n° 1, pp. 5-32.

EDGERTON David, *Quoi de neuf? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*, Paris, Seuil, coll. « L'univers historique », 2013, 315 p.

EDGERTON David, « Innovation, Technology, or History : What Is the Historiography of Technology About ? », *T&C*, 2010, vol. 51, n° 3.

ELLUL Jacques, *La technique : ou L'enjeu du siècle*, Paris, Économica, 1990.

FEBVRE Lucien, « Réflexions sur l'histoire des techniques », *Annales d'histoire économique et sociale*, 30 Novembre 1935, vol. 7, n° 36, pp. 531-535.

GARÇON Anne-Françoise, *L'imaginaire et la pensée technique : une approche historique, XVIe-XXe siècle*, Paris, Classiques Garnier, 2012.

GARDEY Delphine, « Review : Pour penser la technique (Alliage n° 21) », *Flux*, 1996, vol. 12, n° 23, pp. 55-57.

GUILLERME Jacques, *Technique et technologie*, Paris, Hachette, 1973.

GUILLERME Jacques, NEGRE Valérie et VERIN Hélène, *L'art du projet : histoire, technique et architecture*, Wavre (Belgique), Mardaga, 2008.

HOTTOIS Gilbert, *Philosophies des sciences, philosophies des techniques*, Odile Jacob, 2004, 228 p.

RUSSO François, *Introduction à l'histoire des techniques*, Paris, A. Blanchard, coll. « Bibliothèque scientifique », 1986, 533 p.

SERIS Jean-Pierre, *La technique*, Paris, Presses universitaires de France, 1994.

SIMONDON Gilbert, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, Paris, 1989.

Sur l'analyse des textes et des images

BARTHES Roland, « L'effet de réel », *Communications*, 1968, vol. 11, n° 1, pp. 84-89.

BARTHES Roland, « Image, raison, déraison », in *L'univers de l'Encyclopédie, 130 planches de l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert*, Libraires associés., Paris, 1964.

BOT Marc LE, *Peinture et machinisme*, Klincksieck., Paris, 1973, 259 p.

COMPAGNON Antoine, *La notion de genre*, <http://www.fabula.org/compagnon/genre.php>, consulté le 2 mai 2013.

DEPREZ-MASSON Marie-Claude, *Technique, mot et image : le De Re Metallica d'Agricola*, coll. « De diversis artibus, ISSN 1766-7593 ; t. 75, N.S. 38 », 2006.

EDGERTON Samuel Y. Jr., « The Renaissance Artist as Quantifier », in *The Perception of pictures*, New-York, Academic Press, 1980.

FERGUSON Eugene S., *Engineering and the Mind's Eye*, The MIT Press, 1994, 264 p.

FERGUSON Eugene S., « The Mind's Eye: Nonverbal Thought in Technology », *Leonardo*, Spring 1978, vol. 11, n° 2, pp. 131-139.

HAGEN Margaret A, *The Perception of pictures*, New York, Academic Press, 1980.

JOYEUX-PRUNEL Béatrice, « L'histoire de l'art et le quantitatif », *Histoire et mesure*, 23-2, 2008.

KLEIN Robert et CHASTEL André, *La forme et l'intelligible : écrits sur la Renaissance et l'art moderne*, Paris, Gallimard, 1970.

LAMARD Pierre et STOSKOPF Nicolas (dirs.), *Art et industrie XVIIIe-XXIe siècle. Actes des quatrièmes Journées d'histoire industrielle de Mulhouse et Belfort 18-19 novembre 2010*, Paris, A. et J. Picard, coll. « Histoire industrielle et société », n° 4, 2013.

LAPLANTINE François, « Penser en images », *Ethnologie française*, 2007, vol. 109, n° 1, p. 47.

LATOUR Bruno (dir.), *Culture technique n° 14 : Les « vues » de l'esprit*, Neuilly-sur-Seine, Centre de recherche sur la culture technique, 1985.

PACEY Arnold, « Review: sur Ferguson et le mind's eye », *Isis*, Décembre 1993, vol. 84, n° 4, p. 781.

PIERROT Nicolas, *Les images de l'industrie en France : peintures, dessins, estampes, 1760-1870*, Thèse de doctorat, sous la direction d'Anne-Françoise Garçon, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 2010, 1105 p.

RAVIER-MAZZOCCO Benjamin, « Lire les images de machines. Essai pour une typologie analytique des images techniques (XVe-début XIXe) », *e-Phaistos*, 2012, I, n° 2, pp. 54-68.

SHAPIN Steven, « Une pompe de circonstance. La technologie littéraire de Boyle. », *Culture technique*, 1985, vol. 14.

Sur la réduction en art, la topique, la technologie

DUBOURG GLATIGNY Pascal et VERIN Hélène (dirs.), *Réduire en art : la technologie de la Renaissance aux Lumières*, Paris, Éd. de la Maison des sciences de l'homme, 2008.

FALGUIERES Patricia, *Le maniérisme : une avant-garde au XVIe siècle*, [Paris], Gallimard, coll. « Découvertes Gallimard, ISSN 0988-0712 ; 457 », 2004, 159 p.

FALGUIERES Patricia, *Les chambres des merveilles*, Paris, Bayard, coll. « Le Rayon des curiosités », 2003.

GARÇON Anne-Françoise, « Réduire la mine en science... ? », in Hélène VERIN et Pascal DUBOURG GLATIGNY (dirs.), *Réduire en art. La technologie de la Renaissance aux Lumières*, Paris, Éd. de la Maison des sciences de l'homme, 2008, pp. 293-317.

GARÇON Anne-Françoise, *Entre l'État et l'usine : l'École des mines de Saint-Etienne au XIXe siècle*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, coll. « Histoire (Rennes), ISSN 1255-2364 », 2004, 368 p.

GILLE Bertrand, *Les mécaniciens grecs : la naissance de la technologie*, Paris, Seuil, 1980.

GUILLERME Jacques et SEBESTIK Jan, « Les commencements de la technologie », 2007, nouvelle série, n° 14, pp. 49-122.

SEBESTIK Jan, « Les commencements de la technologie. Postface/préface », *Documents pour l'histoire des techniques*, 2007, nouvelle série, n° 14, pp. 123-133.

VERIN Hélène, « La technologie : science autonome ou science intermédiaire ? », *Documents pour l'histoire des techniques*, 2007, nouvelle série, n° 14, pp. 134-143.

Sur l'invention et la conception

DOUBLET Philippe et SEGRESTIN Blanche, « Culture et conception », in Armand HATCHUEL et Benoît WEIL (dirs.), *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Cerisy-la-Salle, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy, 2008.

FLICHY Patrice, *L'innovation technique : récents développements en sciences sociales : vers une nouvelle théorie de l'innovation*, Paris, Éd. La Découverte, coll. « Sciences et société (Paris. 1984), ISSN 0763-4641 », 2003, 250 p.

FOX Robert, « L'inventeur et l'invention », *Alliage*, , n° 20-21, p. 44.

GARÇON Anne-Françoise, « La science, l'esthétique et l'éculé », in Armand HATCHUEL et Benoît WEIL (dirs.), *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Cerisy-la-Salle, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy, 2008.

HATCHUEL Armand et WEIL Benoît, *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy., Cerisy-la-Salle, coll. « Colloque de Cerisy-la-Salle », 2008, 272 p.

HILAIRE-PEREZ Liliane et GARÇON Anne-Françoise, *Les Chemins de la nouveauté: innover, inventer au regard de l'histoire*, Éd. du CTHS, 2003, 484 p.

MASSON Pascal LE et WEIL Benoît, « Aux sources de la R&D : genèse des théories de la conception réglée en Allemagne (1840-1960) », *Entreprises et histoire*, 2010, vol. 58, n° 1, pp. 11-50.

MASSON Pascal LE et WEIL Benoît, « La conception innovante comme mode d'extension et de régénération de la conception réglée : les expériences oubliées aux origines des bureaux d'études. », *Entreprises et histoire*, 2010, vol. 58, n° 1, pp. 51-73.

MASSON Pascal LE et WEIL Benoît, « La domestication de la conception par les entreprises industrielles : l'invention des bureaux d'études », in *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Cerisy-la-Salle, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy, 2008.

VERIN Hélène, « « Comme en un infini » : les pouvoirs de la conception à la Renaissance », in *Les nouveaux régimes de la conception : langages, théories, métiers*, Cerisy-la-Salle, Vuibert, Centre culturel international de Cerisy, 2008.

Autres concepts traités

BENOIT Serge, « Les évolutions de la notion d'entreprise (entretien) », *e-Phaïstos*, 2012, I, n° 2, pp. 79-84.

DUBOURG GLATIGNY Pascal, « Mécaniser la perspective : les instruments entre pratique et spéculation », *e-Phaïstos*, Juin 2013, II, n° 1.

GRAFTON Anthony, « The Availability of Ancient Works », in *The Cambridge History of Renaissance Philosophy*, Cambridge, Charles B. Schmitt et al., 1988.

KUHN Thomas Samuel, *La structure des révolutions scientifiques*, coll. « Champs », 1983.

MARTINE Jean-Luc, « L'article Art de Diderot : machine et pensée pratique », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, 1 Décembre 2005, n° 39, « Varia », pp. 41-79.

RIETH Éric, *Le maître-gabarit, la tablette et le trébuchet essai sur la conception non-graphique des carènes du Moyen âge au XXe siècle*, Paris, CTHS, 1996.

SARTON George, « Review: sur les instruments scientifiques de Daumas », *Isis*, Décembre 1953, vol. 44, n° 4, pp. 391-392.

SHAPIN Steven et SCHAFFER Simon, *Leviathan et la pompe à air : Hobbes et Boyle entre science et politique*, traduit par Thierry PIELAT et Sylvie BARJANSKY, Paris, Éd. La Découverte, coll. « Textes à l'appui. Anthropologie des sciences et des techniques », 1993, 457 p.

VAN DELFT Louis, « L'idée de théâtre (XVIe -XVIIIe siècle) », *Revue d'histoire littéraire de la France*, 2001, vol. 101, n° 5, pp. 1349-1365.

VATIN François, « Sur les relations entre pensée technique et pensée économique (entretien) », *e-Phaïstos*, 2013, II, n° 2.

VERIN Hélène, *Entrepreneurs, entreprise : histoire d'une idée*, Paris, Presses universitaires de France, 1982.

ZILSEL Edgar et HEINICH Nathalie, *Le génie : histoire d'une notion de l'Antiquité à la Renaissance*, traduit par Michel THEVENAZ, Paris, les Éd. de Minuit, coll. « Paradoxe (Paris), ISSN 1243-1907 », 1993, 301 p.

Sciences et techniques, Atala n°10, Rennes, Cercle de réflexion universitaire du Lycée Chateaubriand, 2007, 256 p.

« Review : Histoire de la langue française. Tome VI. Le mouvement des idées et les vocabulaires techniques. Paris, Colin, 1930. », *Bibliothèque de l'école des chartes*, 1931, vol. 92, n° 1, pp. 205-209.

Site de la Revue de synthèse : sommaire du numéro 9, <http://revue-de-synthese.eu/>, consulté le 30 avril 2010.

Contexte

Moyen Âge et Renaissance

BOAS Marie, « Hero's Pneumatica: A Study of Its Transmission and Influence », *Isis*, 1 Février 1949, vol. 40, n° 1, pp. 38-48.

BORNKAMM H., FUCHS W. P., JACOB Gerhard, ANDREAS Willy, FS., CARSTEN F. L., KENNEPOHL Karl, HG. H. et H. H., « Review: Reformation und Gegenreformation (1500-1648) », *Historische Zeitschrift*, 1957, vol. 183, n° 3, pp. 707-718.

BRIOIST Pascal, « Les sciences et l'expérimentation à la Renaissance », *Atala*, 2010, n° 10, pp. 31-46.

BRIOIST Pascal, « Les savoirs scientifiques », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 2002, vol. 5, n° 49-4bis.

BURIONI Matteo, *Die Renaissance der Architekten : Profession und Souveränität des Baukünstlers in Giorgi Vasaris Viten*, Berlin, Gebr. Mann, coll. « Neue Frankfurter Forschungen zur Kunst ; 6 », 2008, 205 p.

CIPOLLA Carlo M., « The Diffusion of Innovations in Early Modern Europe », *Comparative Studies in Society and History*, Janvier 1972, vol. 14, n° 1, pp. 46-52.

CROIX Horst de la, « The Literature on Fortification in Renaissance Italy », *T&C*, Winter 1963, vol. 4, n° 1, pp. 30-50.

DALLEY Stephanie et OLESON John Peter, « Sennacherib, Archimedes, and the Water Screw: The Context of Invention in the Ancient World », *T&C*, Janvier 2003, vol. 44, n° 1, pp. 1-26.

DEFORGE Yves, *Le graphisme technique : son histoire et son enseignement*, Seyssel, Champ Vallon, coll. « Collection Milieux », 1981, 256 p.

DUBOURG GLATIGNY Pascal, « Mécaniser la perspective : les instruments entre pratique et spéculation », *e-Phaistos*, Juin 2013, II, n° 1.

EDGERTON Samuel Y. Jr., « The Renaissance Artist as Quantifier », in *The Perception of pictures*, New-York, Academic Press, 1980.

EISENBICHLER Konrad, « Review: Social, Intellectual, and Festive Spaces in Recent Italian Scholarship on the Renaissance: A Sampling », *Renaissance Quarterly*, Summer 1998, vol. 51, n° 2, pp. 586-595.

FALGUIERES Patricia, *Le maniérisme : une avant-garde au XVIe siècle*, [Paris], Gallimard, coll. « Découvertes Gallimard », 2004, 159 p.

FERGUSON Eugene S., « The Mind's Eye: Nonverbal Thought in Technology », *Leonardo*, Spring 1978, vol. 11, n° 2, pp. 131-139.

FREEDMAN Joseph S., « Cicero in Sixteenth- and Seventeenth-Century Rhetoric Instruction », *Rhetorica*, Août 1986, vol. 4, n° 3, pp. 227-254.

GALLUZZI Paolo, *Les Ingénieurs de la Renaissance de Brunelleschi à Léonard de Vinci*, Florence, Giunti, 1995, 250 p.

GILLE Bertrand, *Les ingénieurs de la Renaissance*, Paris, Hermann, coll. « Collection Points », 1964, 282 p.

GRENDLER Paul F., « Review: Tradesmen and Traders (from Venice, XVI-XVIIe), de R. Mackenney, 1987 », *The International History Review*, Novembre 1987, vol. 9, n° 4, pp. 662-664.

HELLER Henry, *Labour, Science and Technology in France, 1500-1620*, Cambridge University Press, 2002, 276 p.

HENNINGER-VOSS M., « Working Machines and Noble Mechanics: Guidobaldo del Monte and the Translation of Knowledge », *Isis*, Juin 2000, vol. 91, n° 2, pp. 233-259.

HILAIRE-PEREZ Liliane, MASSOUNIE Dominique et SERNA Virginie, *Archives, objets, et images des constructions de l'eau du Moyen âge à l'ère industrielle*, ENS Editions, 2002, 398 p.

HOFF Hebbel E. et GEDDES L. A., « The Beginnings of Graphic Recording », *Isis*, Septembre 1962, vol. 53, n° 3, pp. 287-324.

JONES-DAVIES Marie Thérèse et SOCIETE INTERNATIONALE DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES SUR LA RENAISSANCE, Klincksieck, 1994.

KLANICZAY Tibor et STEGMANN André, *L'époque de la Renaissance 1400-1600*, John Benjamins Publishing Company, 2000, 844 p.

KLEIN Robert et CHASTEL André, *La forme et l'intelligible : écrits sur la Renaissance et l'art moderne*, Paris, Gallimard, 1970.

LEFÈVRE Wolfgang (dir.), *Picturing machines : 1400-1700*, Cambridge, Mass., MIT Press, coll. « Transformations », 2004.

LONG Pamela O., « Review: sur les relations travail, science et techniques France Renaissance », *Renaissance Quarterly*, Spring 1998, vol. 51, n° 1, pp. 233-234.

LUCAS Adam, *Wind, water, work : ancient and medieval milling technology*, Leiden, Brill, coll. « Technology and change in history », 2006.

PARSONS William Barclay, *Engineers and engineering in the Renaissance*, Cambridge [Mass.], MIT Press, 1939.

REYNOLDS Terry S., *Stronger than a Hundred Men: A History of the Vertical Water Wheel*, The Johns Hopkins University Press, 2002, 453 p.

ROSE Paul Lawrence et DRAKE Stillman, « The Pseudo-Aristotelian Questions of Mechanics in Renaissance Culture », *Studies in the Renaissance*, 1971, vol. 18, pp. 65-104.

ROSSI Paolo (1923-), *Les philosophes et les machines : 1400-1700*, traduit par Patrick VIGHETTI, coll. « Science, histoire et société », 1996.

WALTON Steven A., « Review: revue du Picturing Machines. Inaccessible, cf. Isis n°97 », *Isis*, Mars 2006, vol. 97, n° 1, pp. 155-156.

ZEMON DAVIS Natalie, *Essai sur le don dans la France du XVI^e siècle*, traduit par Denis TRIERWEILER, Paris, Éd. du Seuil, 2003.

« Etudes sur l'atomisme (XVI^e-XVII^e siècles) », *Revue d'histoire des sciences*, 2002, vol. 55, n° 2.

XVII^e-XVIII^e siècles

BARTHES Roland, « Les planches de l'Encyclopédie », in *Le degré zéro de l'écriture, suivi de Nouveaux essais critiques*, Seuil., Paris, 1972.

BERNHARDT Jean, « Galilée et la naissance de la mécanique classique selon Maurice Clavelin. », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1970, vol. 23, n° 4, pp. 351-364.

BIRN Raymond, « Les mots et les images: L'« Encyclopédie », le projet de Diderot et la stratégie des éditeurs », *Revue d'histoire moderne et contemporaine (1954-)*, Décembre 1988, vol. 35, n° 4, pp. 637-651.

BLANCHARD Anne, « « Ingénieurs de Sa Majesté Très Chrétienne a l'étranger » ou l'école française de fortifications », *Revue d'histoire moderne et contemporaine (1954-)*, Mars 1973, vol. 20, n° 1, pp. 25-36.

BUISSERET David J., *Les Ingénieurs du Roi au temps de Henri IV*, Paris, Bibliothèque nationale, 1965.

CENTRE D'HISTOIRE DES TECHNIQUES ET DE L'ENVIRONNEMENT et INSTITUT NATIONAL D'HISTOIRE DEL'ART, *La construction savante : les avatars de la littérature technique : Actes du colloque « Les avatars de la littérature technique, formes imprimées des savoirs liés à la construction »*, Paris : Éd. Picard : Centre d'histoire des techniques et de l'environnement, France, Institut national d'histoire de l'art, 2008, 444 p.

CENTRE INTERNATIONAL DE SYNTHÈSE, SECTION HISTOIRE DES SCIENCES, *L'« Encyclopédie » et le progrès des sciences et des techniques*, Paris, Presses universitaires de France, 1951, 235 p.

CHARLES COULSTON GILLISPIE, « Essays and Reviews in History and History of Science », *Transactions of the American Philosophical Society*, 2006, vol. 96, n° 5, « New Series », pp. i-424.

COMPERE Marie-Madeleine, « La Contre-Réforme mathématique. Constitution et diffusion d'une culture mathématique jésuite à la Renaissance (1540-1640) », *Histoire de l'éducation*, 1 Janvier 2002, n° 93, « Varia », pp. 99-103.

DAINVILLE F. De, « L'enseignement des mathématiques dans les Collèges Jésuites de France du XVIe au XVIIIe siècle. », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1954, vol. 7, n° 1, pp. 6-21.

DAINVILLE François de, « L'instruction des Gardes de la Marine à Brest en 1692 », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1956, vol. 9, n° 4, pp. 323-338.

DAUMAS M. et TRESSE R., « La « Description des Arts et Métiers » de l'Académie des Sciences et le sort de ses planches gravées en taille douce. », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1954, vol. 7, n° 2, pp. 163-171.

DELAUNAY Bernard, « Calculer une machine au XVIIIe siècle », *e-Phaïstos*, 2013, II, n° 1.

DELAUNAY Bernard, *L'émergence de la technologie à travers les travaux de l'Académie des Sciences au début du XVIIIe siècle*, sous la direction d'Anne-Françoise Garçon, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 2009, 185 p.

DEPREAUX Albert, « Review: L'organisation défensive des frontières du Nord et de l'Est au XVIIIe siècle de Gaston Zeller. », *Revue d'histoire moderne*, Avril 1929, vol. 4, n° 20, pp. 159-160.

DUBARLE Dominique, « La méthode scientifique de Galilée », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1965, vol. 18, n° 2, pp. 161-192.

DUCHET Michèle, « Diderot et l'encyclopédie », *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 1964, vol. 19, n° 5, pp. 953-965.

DUHEM Pierre, *Les origines de la Statique*, Paris, Gabay, 2006.

DUPONT Jean-Yves, « Le cours de Machines de l'Ecole polytechnique, de sa création jusqu'en 1850 », *Bulletin de la Sabix*, 1 Octobre 2000, n° 25, « Le cours de Machines de l'Ecole polytechnique, de sa création jusqu'en 1850 », pp. 3-5.

ENFERT Renaud d', « Les écoles de dessin au XVIIIe siècle. Préface de Marcel Grandière. », *Histoire de l'éducation*, 1 Janvier 2008, n° 117, « Varia », pp. 117-120.

ENFERT Renaud d', *L'enseignement du dessin en France: figure humaine et dessin géométrique (1750-1850)*, Paris, Belin, 2003.

ENFERT Renaud d', « DUPONT (Jean-Yves). – Le Cours de machines de l'École polytechnique, de sa création jusqu'en 1850 », *Histoire de l'éducation*, 1 Janvier 2001, n° 89, « Varia », pp. 178-179.

FONTENEAU Yannick, « Les antécédents du concept de travail mécanique chez Amontons, Parent et Daniel Bernoulli : de la qualité à la quantité (1699-1738) », *Dix-huitième siècle*, 2009, vol. 41, n° 1, p. 339.

GENET Jean-Philippe, RUGGIU François-Joseph et GROUP) GDR 2136 (Research, *Les idées passent-elles la Manche?: savoirs, représentations, pratiques (France-Angleterre, Xe-XXe siècles)*, Presses Paris Sorbonne, 2007, 408 p.

GRABER F., « Du faiseur de projet au projet régulier dans les travaux publics (XVIIIe-XIXe siècles) », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 2011, vol. 58, n° 3.

GRALL Bernard et VATIN François, *Économie de forces et production d'utilités : l'émergence du calcul économique chez les ingénieurs des Ponts et chaussées, 1831-1891*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2003.

GROSS Michael B., « Kulturkampf and Unification: German Liberalism and the War against the Jesuits », *Central European History*, 1997, vol. 30, n° 4, pp. 545-566.

GROUSSARD David, *La gestion de l'eau dans les villes bretonnes aux XVIIe et XVIIIe siècles*, Thèse de doctorat, sous la direction de Serge Bianchi et Anne-Françoise Garçon, Université de Rennes 2, 2010, 955 p.

HALL A. Rupert, « Engineering and the Scientific Revolution », *T&C*, Autumn 1961, vol. 2, n° 4, pp. 333-341.

HILAIRE-PEREZ Liliane, *L'invention technique au siècle des Lumières*, Albin Michel, 2000, 452 p.

HILAIRE-PEREZ Liliane, MASSOUNIE Dominique et SERNA Virginie, *Archives, objets, et images des constructions de l'eau du Moyen âge à l'ère industrielle*, ENS Editions, 2002, 398 p.

JIXING Pan, VOGEL Hans Ulrich et THEISEN-VOGEL Elisabeth, « Die Übersetzung und Verbreitung von Georgius Agricolas « De re metallica » im China der späten Ming-Zeit (1368-1644) », *Journal of the Economic and Social History of the Orient*, Juin 1989, vol. 32, n° 2, pp. 153-202.

KARPINSKI L. C. et KOKOMOOR F. W., « The Teaching of Elementary Geometry in the Seventeenth Century », *Isis*, Mars 1928, vol. 10, n° 1, pp. 21-32.

LABORIER Pascale, « La «bonne police». Sciences camérales et pouvoir absolutiste dans les États allemands », *Politix*, 1999, vol. 12, n° 48, pp. 7-35.

MARTINE Jean-Luc, « L'ordre encyclopédique à l'épreuve des machines : les désignants dans la Description des arts », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, 1 Octobre 2006, n° 40-41, « Les branches du savoir dans l'Encyclopédie », pp. 193-207.

MECHOULAN Henry, *L'État classique: regards sur la pensée politique de la France dans le second XVIIe siècle*, Vrin, 1996, 508 p.

MINARD Philippe, *La fortune du colbertisme : état et industrie dans la France des Lumières*, 1998.

MORGAN Luke, *Nature as model : Salomon de Caus and early seventeenth-century landscape design*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, coll. « Penn studies in landscape architecture », 2007.

NEEDHAM Joseph, WANG Ling et LU Gwei-Djen, *Science and civilisation in China. Volume 4, Physics and physical technology. Part 2, Mechanical engineering*, Cambridge, Cambridge university press, 1965, LV-759 p.

PICON Antoine, *L'invention de l'ingénieur moderne : l'École des Ponts et chaussées : 1747-1851*, 1992.

PIERROT Nicolas, *Les images de l'industrie en France : peintures, dessins, estampes, 1760-1870*, Thèse de doctorat, sous la direction d'Anne-Françoise Garçon, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, 2010, 1105 p.

PINAUL-SORENSEN Madeleine, « Les quatre Eléments dans les planches de l'Encyclopédie », in *La Matière et l'Homme dans l'Encyclopédie, actes du colloque de Joinville (10-12 juillet 1995)*, Klincksieck., Paris, Albertan Coppola Sylviane et Chouillet Anne-Marie, 1998, pp. 219-226.

POPLOW Marcus, *L'emploi du dessin parmi les ingénieurs du 16e au 18e siècle (intervention podcastée)*, http://epi.univ-paris1.fr/1174662770083/0/fiche_actualite/&RH=epi-030-ST.

QUERE Bernard, *La communication scientifique et technique par les outils graphiques, de 1750 à 1850, dans le contexte de la Bretagne*, thèse sous la direction de Jean Dhombres, EHESS, Paris, 2005.

RICHARDT Aimé, *Colbert et le colbertisme*, coll. « Figures de proue », 1997.

ROMANO Antonella, *La Contre-Réforme mathématique : constitution et diffusion d'une culture mathématique jésuite à la Renaissance, 1540-1640*, Rome, Ecole française de Rome, 1999.

SCHMIT Christophe, « Les articles de mécanique de l'Encyclopédie, ou D'Alembert lecteur de Varignon », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, 15 Novembre 2011, n° 46, « Lettre sur les sourds et muets », pp. 169-200.

SERIS Jean-Pierre, *Machine et communication : du théâtre des machines à la mécanique industrielle*, Paris, J. Vrin, coll. « L'Histoire des sciences, textes et études », 1987, 494 p.

SEWELL Villiam H. Jr., « Visions of Labor : Illustrations of the Mechanical Arts before, in, and after Diderot's Encyclopédie », in *Work in France, Representations, meaning, organization and practice*, Cornell University Press., Ithaca et Londres, Steven L. Kaplan et Cynthia J. Koepp, 1986, pp. 258-286.

SIMON SCHAFFER, « The Show That Never Ends: Perpetual Motion in the Early Eighteenth Century », *The British Journal for the History of Science*, Juin 1995, vol. 28, n° 2, pp. 157-189.

THACKER Christopher, « Fountains: Theory and Practice in the Seventeenth and Eighteenth Centuries », *Occasional Paper (Garden History Society)*, 1970, n° 2, pp. 19-26.

TOURNES Dominique, « Figures idéales et figures sensibles. Place des instruments de dessin dans l'histoire et l'enseignement de la géométrie », *Expressions (IUFM de la Réunion)*, 2001, n° 18, pp. 117-138.

TRABULSE Elías, *Los orígenes de la ciencia moderna en México (1630-1680)*, México, D.F., Fondo de Cultura Económica, 1994.

TROGER Vincent, *Une histoire de l'éducation et de la formation*, Auxerre, Sciences Humaines, coll. « Les Dossiers de l'éducation », 2006, 272 p.

VATIN François, *Le travail : économie et physique, 1780-1830*, Paris, Presses universitaires de France, coll. « Philosophies », 1993, 127 p.

VERIN Hélène, *La gloire des ingénieurs : l'intelligence technique du XVIe au XVIIIe siècle*, Paris, A. Michel, coll. « L'Évolution de l'humanité », 1993, 455 p.

WOODBURY Robert S., « The First Epicycloidal Gear Teeth », *Isis*, Décembre 1958, vol. 49, n° 4, pp. 375-377.

« Review : Hélène Vérin, « La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVIe au XVIIIe siècle » », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 1994, vol. 49, n° 4, pp. 918-920.

Ouvrages spécialisés

Histoire du livre, des bibliothèques, de la bibliophilie, des modèles et des cabinets de curiosités

Ouvrages généraux

BREDEKAMP Horst, *Machines et cabinets de curiosité*, traduit par Nicole CASANOVA, coll. « Collection Latitudes », 1996.

BREDEKAMP Horst (1947-. ...), *La nostalgie de l'antique : statues, machines et cabinets de curiosités*, Paris, Diderot éd., arts et sciences, coll. « Nouveaux essais de philosophie naturelle », 1996.

CARDOSO DE MATOS Ana, CORCY Marie-Sophie, DEMEULENAERE-DOUYERE Christiane et GOUZEVITCH Irina (dirs.), *Colloque « Cabinets de curiosités, collections techniques et musées d'arts et métiers : origines, mutations et usages, des Lumières à la Seconde Guerre mondiale » (actes non parus)*, CNAM, 2011.

CHAPRON Emmanuelle, « Voyageurs et bibliothèques dans l'Italie du XVIIIe siècle : des *mirabilia* au débat sur l'utilité publique », *Bibliothèque de l'école des chartes*, 2004, vol. 162, n° 2, pp. 455-482.

CHARON Annie, PARINET Elisabeth et BOUGE-GRANDON Dominique (dirs.), *Les ventes de livres et leurs catalogues, XVIIe-XXe siècle. Actes des journées d'étude organisée par l'ENSSIB (Paris, 22 janvier 1998) et par l'école nationale des Chartes*, Paris, Ecole nationale des Chartes, 2000.

EISENSTEIN Elizabeth Lewisohn, *La révolution de l'imprimé : à l'aube de l'Europe moderne*, traduit par Maud SISSUNG et Marc DUCHAMP, Paris, Hachette littératures, coll. « Pluriel », 2003, 352 p.

FEBVRE Lucien, *L'apparition du livre*, Paris, Éditions A. Michel, 1958.

FERGUSON Eugene S., « Technical Museums and International Exhibitions », *T&C*, Winter 1965, vol. 6, n° 1, pp. 30-46.

FERGUSON Eugene S., « Review: Cogs in the wheel, de Llewellyn Powell », *T&C*, Winter 1964, vol. 5, n° 1, pp. 133-134.

GASKELL Philip, *A new introduction to bibliography*, Oxford; New York, Clarendon Press, 1972.

JOLLY Claude, *Histoire des bibliothèques françaises. , Les bibliothèques sous l'Ancien Régime, 1530-1789*, 2008.

MARION Michel, *Collections et collectionneurs de livres au XVIIIe siècle*, coll. « Histoire du livre et des bibliothèques », 1999.

MARTIN H.-J., « L'édition parisienne au XVIIe siècle : quelques aspects économiques », *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 1952, vol. 7, n° 3, pp. 303-318.

MARTIN Henri-Jean, CHARTIER Roger et VIVET Jean-Pierre, *Histoire de l'édition française. Tome I, Le livre conquérant, du Moyen âge au milieu du XVIIe siècle*, 1983.

MARTIN Henri-Jean, CHARTIER Roger et VIVET Jean-Pierre, *Histoire de l'édition française. Tome II, Le Livre triomphant, 1660-1830*, 1984.

MCKENZIE D. F, *La Bibliographie et la sociologie des textes*, Paris, Le Cercle de la Librairie, 1991.

NICOLE MASSON et NICOLE MASSON, *L'Enseignement des catalogues de vente Cet article a été originellement publié dans Curiosité et cabinets de curiosités*, Neuilly, Atlande, 2004, p. 177-185., <http://curiositas.org/document.php?id=149>, consulté le 4 octobre 2010.

OGILVIE Brian W., « Review: sur les curiosités et le merveilleux de la renaissance aux lumières (indisponibles, cf. Isis 99) », *Isis*, Juin 2008, vol. 99, n° 2, pp. 379-380.

POMIAN Krzysztof, *Collectionneurs, amateurs et curieux : Paris, Venise, XVIe-XVIIIe siècle*, coll. « Bibliothèque des histoires », 1987.

SORDET Yann, *Pierre Adamoli et ses collections : l'amour des livres au siècle des Lumières*, coll. « Mémoires et documents de l'Ecole des chartes », n° 60, 2001.

TWYMAN Michael, *L'imprimerie, histoire et techniques*, Lyon, ENS éditions : Institut d'histoire du livre : Les Amis du Musée de l'imprimerie, 2007.

VARRY Dominique, *Introduction à la bibliographie matérielle. Archéologie du livre imprimé (1454-vers 1830). Ouvrage évolutif mis en ligne pour la première fois le 15 juin 2011.*, <http://dominique-varry.enssib.fr/bibliographie%20materielle>, consulté le 14 mai 2013.

Études de cas

BIREMBAUT Arthur, « L'exposition de modèles de machines à Paris, en 1683 », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 1967, vol. 20, n° 2, pp. 141-158.

BOUVARD André, « Heinrich Schickhardt, « Liste de mes livres. 1631 » : l'inventaire autographe d'un architecte des ducs de Wurtemberg », *Les cahiers de RECITS*, 2008, n° 6, pp. 31-55.

ENDREI Walter G., « The First Technical Exhibition », *T&C*, Avril 1968, vol. 9, n° 2, pp. 181-183.

FOUILLOUX Etienne et HOUR Bernard (dirs), *Les jésuites à Lyon, XVIe-XXe siècle*, Lyon, éd. de l'ENS-Lyon, coll. « Sociétés, espaces, temps », 2005.

GROËR Georgette de, *Réforme et Contre-Réforme en France : le collège de la Trinité au XVIe siècle à Lyon*, Paris, Publisud, 1995, 259 p.

MAASS Eleanor A., « Greville Bathe's « Theatre of Machines »: The Evolution of a Scholar and His Collection », *T&C*, Octobre 1978, vol. 19, n° 4, pp. 713-723.

MARION Michel, *Recherches sur les bibliothèques privées à Paris au milieu du XVIIIe siècle : 1750-1759*, Thèse 3e cycle, 1978.

MARRACHE-GOURAUD Myriam, *Cabinet de Félix Platter Cabinet situé à Bâle, cité par différents voyageurs et amateurs de curiosités*, <http://curiositas.org/document.php?id=758>, consulté le 7 décembre 2011.

MICHEL Anne-Céline, *Cabinet de Jean Truchet Cité par Bonnaffé*, <http://curiositas.org/document.php?id=1460>, consulté le 7 décembre 2011.

MICHEL Anne-Céline, *Cabinet de Nicolas Grolier de Servièrres Cité par Bonnaffé*, <http://curiositas.org/document.php?id=1356>, consulté le 7 décembre 2011.

MICHEL Anne-Céline, *Cabinet de Pierre Petit Cité par Bonnaffé*,
<http://curiositas.org/document.php?id=1170>, consulté le 7 décembre 2011.

MORISSE Gérard, « Le commerce du livre lyonnais en Castille au XVI^e siècle », *Revue française d'histoire du livre*, 2010, n° 131.

OLLION Michel, *Les bibliothèques des nobles parisiens à la fin du XVIII^e siècle*, 1985.

RAVIER (S.J.) André, *Un collège de jésuites aux XVII^e et XVIII^e siècles : Le collège de la Très Sainte Trinité de Lyon*, 1948.

REGNIER-ROUX Daniel, « Des livres et un recueil de dessins d'architecture dans la bibliothèque de Camille de Neufville de Villeroy », in *Le Recueil de Lyon. Jacques Ier Androuet du Cerceau et son entourage*, Saint-Etienne, PU-Saint-Etienne, 2010.

REGNIER-ROUX Daniel et DHOMBRES Jean, « La « Bibliotheca mathematica » de Camille de Neufville de Villeroy », à paraître.

ROCHAS Joëlle, « Grünes Gewölbe, le cabinet de curiosités d'Auguste le Fort à Dresde : Les collections de la cour de Dresde, reflet de la richesse minière de la Saxe », <http://curiositas.org>.

La bibliothèque d'Antoine du Verdier, seigneur de Vauprivas, contenant le catalogue de tous ceux qui ont écrit, ou traduit en Français et autres dialectes de ce Royaume, bibliothèque municipale de Lyon, cote 157 470.

Sur la littérature mécanique et les théâtres de machines

Ouvrages généraux

BECK Theodor, *Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues*, Berlin, Springer, 1899.

DOLZA Luisa, *A gloria di Dio, a beneficio degli studiosi e servizio di vostra altezza: i primi teatri di macchine nella cultura del tardo Cinquecento*, Università degli studi, Florence, 1999.

DOLZA Luisa et VERIN Hélène, « Figurer la mécanique: l'énigme des théâtres de machines de la Renaissance », *Revue d'histoire moderne et contemporaine (1954-)*, Juin 2004, vol. 51, n° 2, pp. 7-37.

DOLZA Luisa et VERIN Hélène, « Une mise en scène de la technique : les théâtres de machines », *Alliage*, 2002, n° 50-51.

FERGUSON Eugene S., « Review: Théâtre de Keller. », *T&C*, Autumn 1966, vol. 7, n° 4, pp. 527-528.

GILLE Bertrand, « Histoire des techniques. Compte-rendu des conférences de 1977-78. », *École pratique des hautes études. 4e section, Sciences historiques et philologiques*, 1978, vol. 110, n° 1, pp. 795-833.

HALL Bert S., « Review: Leitbilder der Technik de A. Stöcklein, 1969 », *T&C*, Juillet 1971, vol. 12, n° 3, pp. 495-498.

KELLER Alexander Gustav, « Review: Renaissance Theaters of Machines », *T&C*, Juillet 1978, vol. 19, n° 3, pp. 495-508.

KELLER Alexander Gustav, « Renaissance Theater of Machines », *T&C*, 1978, vol. 19, n° 3.

KELLER Alexander Gustav, « The Missing Years of Jacques Besson, Inventor of Machines, Teacher of Mathematics, Distiller of Oils, and Huguenot Pastor », *T&C*, Janvier 1973, vol. 14, n° 1, pp. 28-39.

RAVIER Benjamin, *Le discours technique dans les théâtres de machines (1572-1629)*, sous la direction d'Anne-Françoise Garçon, ENS-LSH, Lyon, 2009.

SERIS Jean-Pierre, *Machine et communication : du théâtre des machines à la mécanique industrielle*, Paris, J. Vrin, coll. « L'Histoire des sciences, textes et études », 1987, 494 p.

VERIN Hélène, « Les machines hydrauliques dans les théâtres de machines (XVIe-XVIIe siècles) », *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, 2002, Archives, objets et images des constructions de l'eau du Moyen-Âge à l'ère industrielle, n° 1, pp. 103-119.

VERIN Hélène, « Los teatros de maquinas de 1570 a 1630 », *Seminario Orotava*, 2002 et 2002-2003 2001, Année 11 et 12 : Los origines de la ciencia moderna.

Jacques Besson

BATTISON Edwin A., « Stone-Cutting and Polishing Lathe, by Jacques Besson », *T&C*, Spring 1966, vol. 7, n° 2, pp. 202-205.

FALGUIERES Patricia, « Review: sur Besson et Strada des éd. delle elefante. Rossi, Vérin, Dolza, Jensen. », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, Août 2003, vol. 58, n° 4, pp. 910-912.

FOLEY Vernard, SEDLOCK Darlene, WIDULE Carole et ELLIS David, « Besson, da Vinci, and the evolution of the pendulum: Some findings and observations », *History and Technology*, 1988, vol. 6, n° 1, pp. 1-43.

GEYMÜLLER Heinrich von, *Les Du Cerceau [Livre] : leur vie et leur oeuvre d'après de nouvelles recherches / par le Baron Henry de Geymüller*, coll. « Bibliothèque internationale de l'art », 1887.

HILARD Denise, « Jacques Besson et son Théâtre des instruments mathématiques : recherches complémentaires », *Revue française d'histoire du livre*, 1981, n° 30, pp. 47-69.

HILARD Denise, « Jacques Besson et son Théâtre des instruments mathématiques », *Revue française d'histoire du livre*, 1979, n° 22, pp. 5-38.

RAVIER Benjamin, *Théâtres de machines entre Renaissance et âge classique : le Théâtre des*

instruments mathématiques et mécaniques de Jacques Besson, sous la direction d'Olivier Christin et Anne-Françoise Garçon, ENS-LSH, Lyon, 2008.

REGNIER-ROUX Daniel, « Le rôle de Jacques Ier Androuet du Cerceau dans la conception et la réalisation du Livre premier des instruments mathématiques et mécaniques de Jacques Besson », *Revue Reforme, Humanisme, Renaissance (RHR)*, 2010, n° 70, pp. 113-134.

RUSSO François, « Deux ingénieurs de la Renaissance, Besson, Ramelli », *Thales*, 1948, n° 3.

ZEMON DAVIS Natalie, « The Protestantism of Jacques Besson », *T&C*, Autumn 1966, vol. 7, n° 4, p. 513.

Le Recueil de Lyon. Jacques Ier Androuet du Cerceau et son entourage - Dessins d'architecture des XVIe et XVIIe siècles de la bibliothèque de Camille de Neufville de Villeroy - Sylvie Deswarte-Rosa, Daniel Régnier-Roux.

Agostino Ramelli

BLOUNT Robert S., « Review: Hand's End de David Rothenberg », *Forest & Conservation History*, Octobre 1994, vol. 38, n° 4, pp. 199-200. Utilise beaucoup Ramelli comme symbole d'extension de la mécanique.

FERGUSON Eugene S., « Martha Teach Gnudi (1908-76) », *T&C*, Juillet 1976, vol. 17, n° 3, pp. 521-522.

GNUDI Martha Teach, « Agostino Ramelli and Ambroise Bachot », *T&C*, Octobre 1974, vol. 15, n° 4, pp. 614-625.

HALL Bert S., « A Revolving Bookcase by Agostino Ramelli », *T&C*, Juillet 1970, vol. 11, n° 3, pp. 389-400.

HALL Rupert, « Review: fac simile Ramelli par Gnudi et ferguson », *The American Historical Review*, Juin 1977, vol. 82, n° 3, pp. 679-680.

MULTHAUF Robert P., « Review: sur le fac-simile de Ramelli », *Isis*, Mars 1978, vol. 69, n° 1, pp. 134-135.

RAMELLI Agostino (1531-1600?), SCAGLIA Giustina, CARUGO Adriano et FERGUSON Eugene S, *Le diverse et artificiose machine (1588)*, Milano, Il Polifilo, coll. « Libri rari », n° 9, 1991.

RETI Ladislao, « Leonardo and Ramelli », *T&C*, Octobre 1972, vol. 13, n° 4, pp. 577-605.

RETI Ladislao, « The Double-Acting Principle in East and West », *T&C*, Avril 1970, vol. 11, n° 2, pp. 178-200.

RETI Ladislao, « Francesco di Giorgio Martini's Treatise on Engineering and Its Plagiarists », *T&C*, Summer 1963, vol. 4, n° 3, pp. 287-298.

Jacques et Octave Strada

HAYWARD J. F., « Ottavio Strada and the Goldsmiths' Designs of Giulio Romano », *The Burlington Magazine*, 1 Janvier 1970, vol. 112, n° 802, pp. 10-14.

JANSEN Dirck Jacob, « Le rôle de Strada comme éditeur du Settimo Libro de Serlio », in *Sebastiano Serlio à Lyon. Architecture et imprimerie*, Lyon, Mémoire active, 2004.

JANSEN Dirck Jacob, « Jacopo Strada et le commerce d'art », *Revue de l'Art*, 1987, vol. 77, n° 1, pp. 11-21.

LIETZMANN Hilda, « Der kaiserliche Antiquar Jacopo Strada und Kurfurst August von Sachsen », *Zeitschrift für Kunstgeschichte*, 1997, vol. 60, n° 3, pp. 377-399.

Jacob Leupold

FERGUSON Eugene S., « Leupold's « Theatrum Machinarum »: A Need and an Opportunity », *T&C*, Janvier 1971, vol. 12, n° 1, pp. 64-68.

LOCKETT George Wilfred, « Jacob Leupold's analysis of the overshot water-wheel », *Proceedings of the ICE - Water and Maritime Engineering*, 12 Janvier 2001, vol. 148, n° 4, pp. 211-218.

LOCKETT George Wilfred, *Jacob Leupold as hydraulic engineer. A study of his Theatrum Machinarum*, sous la direction Bert Hall, Janis Langins et Hans Leutheusser, université de Toronto, 1994, 281 p.

TROITZCH Ulrich, « Zum Stande der Forschung über Jacob Leupold », *Technikgeschichte*, 1975, vol. 42, n° 4.

Autres études de cas

ANDERSON Russell H., « The Technical Ancestry of Grain-Milling Devices », *Agricultural History*, Juillet 1938, vol. 12, n° 3, pp. 256-270. Replace Ramelli et Böckler dans une histoire des moulins.

ARMITAGE Geoff, « Review: Maps as Prints de David Woodward. », *The Geographical Journal*, Décembre 2000, vol. 166, n° 4, pp. 372-373. Revient sur l'activité de cartographe de Vittorio Zonca.

BEDINI Silvio A., « The Role of Automata in the History of Technology », *T&C*, Winter 1964, vol. 5, n° 1, pp. 24-42. Cite Salomon de Caus.

BELOFSKY Harold, « Engineering Drawing-A Universal Language in Two Dialects », *T&C*, Janvier 1991, vol. 32, n° 1, pp. 23-46. Fait part d'un désintérêt anglais envers les théâtres de machines.

BNF Signets, *Les cathédrales et Villard de Honnecourt : architecture medievale et gothique.*, <http://classes.bnf.fr/villard/index.htm>, consulté le 22 janvier 2013.

BRIOIST Pascal, « La diffusion de l'innovation technique entre XVe et XVIe siècle : le cas Léonard de Vinci », *e-Phaistos*, Juin 2013, II, n° 1.

DIBNER Bern, « Ladislao Reti (1901-1973) », *T&C*, Juillet 1974, vol. 15, n° 3, pp. 440-442.

DIBNER Bern, « Review: Edition de Taccola par J.H. Beck, éd. Il Polifilo. », *Renaissance Quarterly*, Spring 1971, vol. 24, n° 1, pp. 62-63.

ERRARD Jean et FRANCE-LANORD Albert, *Le Premier livre des instruments mathématiques mécaniques*, Paris, Berger-Levrault, 1979.

FORTI Umberto, *Machinae Novae (fac-simile)*, Milan, Ferro edizioni, 1968.

GARCIA-DIEGO J. A., « The Chapter on Weirs in the Codex of Juanelo Turriano: A Question of Authorship », *T&C*, Avril 1976, vol. 17, n° 2, pp. 217-234.

GHASWALA S. K., « Review: Perpetual Motion : the history of an Obsession, de A.W.J.G. Ord-Hume, 1977 », *Leonardo*, Autumn 1978, vol. 11, n° 4, p. 333. Cite Böckler et Leupold sur ce point.

GILLESPIE George Cuthbert, « Early Fire Protection and the Use of Fire Marks », *The Pennsylvania Magazine of History and Biography*, 1922, vol. 46, n° 3, pp. 232-261.

HALL Bert S., « Review: The New Leonardo sur deux ouvrages de L. Reti. », *Isis*, Septembre 1976, vol. 67, n° 3, pp. 463-475.

HOLLISTER-SHORT Graham, « Review: sur Juanelo Turriano », *T&C*, Avril 1988, vol. 29, n° 2, pp. 287-289.

HOUNSHELL David A., « Eugene S. Ferguson, 1916-2004 », *T&C*, Octobre 2004, vol. 45, n° 4, pp. 911-921.

KELLER Alexander Gustav, « Review: sur Zonca et Poni, 1985 », *T&C*, Avril 1988, vol. 29, n° 2, pp. 285-287.

KLUCKERT Ehrenfried, *Heinrich Schickhardt. Architekt und Ingenieur. Eine Monographie*, Herrenberg, 1992.

LEFÈVRE Wolfgang et POPLOW Marcus, *DMD - Database Machine Drawings*, <http://dmd.mpiwg-berlin.mpg.de/home>, consulté le 14 janvier 2013.

MAKS Christina Sandrina, *Salomon de Caus 1576-1626*, Paris, Jouve & cie, 1935.

MURGATROYD Stephen, « Review: sur le mouvement perpetuel », *Leonardo*, Autumn 1978, vol. 11, n° 4, p. 333.

MUSEE GALILLEE DE FLORENCE, *Leonardo and the Engineers of the Renaissance*,
<http://brunelleschi.imss.fi.it/ingrin/index.html>, consulté le 2 mai 2013.

SAMARAN Charles, « Le carnet de croquis et de voyage d'un architecte français du XIII^e siècle (Villard de Honnecourt) », *Journal des savants*, 1973, vol. 4, n° 1, pp. 241-256.

RETI Ladislao, « The Two Unpublished Manuscripts of Leonardo Da Vinci in the Biblioteca Nacional of Madrid - I », *The Burlington Magazine*, Janvier 1968, vol. 110, n° 778, pp. 10-2.

RETI Ladislao, « The Leonardo da Vinci Codices in the Biblioteca Nacional of Madrid », *T&C*, Octobre 1967, vol. 8, n° 4, pp. 437-445.

RETI Ladislao et TURRIANO Juanelo, « The Codex of Juanelo Turriano (1500-1585) », *T&C*, Janvier 1967, vol. 8, n° 1, pp. 53-66.

TARVER W. T. S., « The Traction Trebuchet: A Reconstruction of an Early Medieval Siege Engine », *T&C*, Janvier 1995, vol. 36, n° 1, pp. 136-167.

UERSCHELN Gabriele, MUSEUM FÜR EUROPÄISCHE GARTENKUNST (DÜSSELDORF Allemagne) et STIFTUNG SCHLOSS UND PARK BENRATH (DÜSSELDORF Allemagne), *Wunder und Wissenschaft : Salomon de Caus und die Automatenkunst in den Gärten um 1600 : Katalogbuch zur Ausstellung im Museum für Europäische Gartenkunst der Stiftung Schloss und Park Benrath 17. August bis 5. Oktober 2008*, Düsseldorf, Grupello, 2008.

VERHAEREN H., « Wang Tchong et la mécanique », *Le bulletin catholique de Pékin*, 1947, vol. 34, pp. 185-186.

VERIN Hélène, « Salomon de Caus, un mécanicien praticien », *Revue de l'Art*, 2000, vol. 129, n° 3, pp. 70-76.

VERIN Hélène et METAILE Georges, « Ces étranges machines extrêmes occidentales (intervention) », in *Les machines à la Renaissance : XLVIII^e Colloque International d'Etudes Humanistes*, Actes non publié, 2005.

VILLARD DE HONNECOURT Association, *Le carnet de Villard de Honnecourt*,
<http://villarddehonnecourt.free.fr/carnet.htm>, consulté le 22 janvier 2013.

WHITE Lynn, « The Invention of the Parachute », *T&C*, Juillet 1968, vol. 9, n° 3, pp. 462-467.
Revient sur la contribution de Veranzio.

ZONCA Vittorio et PONI Carlo, *Novo teatro di machine et edificii 1607*, Milan, Edizioni il Polifilo, 1985.

Table des matières

Introduction	3
Partie I : Les théâtres de machines : un succès durable (XVI^e-XVIII^e)	20
<i>Chapitre 1 : Pourquoi publier un livre de machines ? (1569-1629)</i>	<i>21</i>
L'héritage de la littérature du quattrocento	22
Le « moment Jacques Besson » : du traité savant au livre d'inventions, 1569-1578	28
Le manuscrit, un projet technique pour le Prince	30
<i>Le Livre premier des instruments</i> , un livre d'inventions courtisan	32
Des livres d'inventions pour la carrière des ingénieurs (1579-1587)	36
Jean Errard, héritier direct de Besson	37
D'autres livres d'inventions : Isacchi, Bachot	39
En parallèle : l'émergence des théâtres de machines (1578-1588)	42
Les premiers états du <i>Theatrum instrumentorum et machinarum</i> à Genève	42
<i>Le diverse et artificiose machine</i> d'Agostino Ramelli	45
Deux évolutions du genre (1607-1615)	47
La piste italienne : Vittorio Zonca (1607)	48
Un traité de mécanique : Salomon de Caus (1615)	50
Un outil de glorification (1615-1629)	53
Des nobles amateurs : Veranzio et Strada	53
Justifier sa position : Branca	56
<i>Chapitre 2 : Les avatars d'un genre à succès (XVII^e-XVIII^e siècle)</i>	<i>57</i>
Un manuel de mécanique chinois inspiré des théâtres de machines (1627)	58
La rencontre du jésuite et du fonctionnaire chinois	58
Une pensée technologique ?	61
Vertus de la mécanique et utilité des machines	64
De la science à la pratique : les merveilleuses machines d'extrême-occident	68
La piste allemande : encyclopédisme et théâtres de machines (1607-1727)	74
Heinrich Zeising : une encyclopédie portative de théâtres de machines (1607-1614)	75
Le <i>Theatrum machinarum novum</i> d'Andréas Böckler : une réédition augmentée	78
Les <i>Theatri</i> de Jacob Leupold : l'aboutissement du genre (1724-1727)	79
Le genre relancé (1734-1788)	86
<i>Chapitre 3 : Posséder des livres de machines</i>	<i>89</i>
Une littérature au rayonnement européen	89
Les théâtres de machines et la bibliophilie	101
Les critères principaux de la collection : curiosité et rareté	102
Les théâtres de machines dans les manuels de bibliophilie	105
Théâtres de machines dans les collections d'amateurs des XVII ^e et XVIII ^e siècle	110
Modèles et théâtres de machines	119
Une évolution similaire ?	119
L'invention comme base de la constitution d'un cabinet de machines	121
Maintenir la réputation du cabinet	124
L'utilité des modèles et du catalogue	126
Être utile aux curieux	126

Le catalogue : un outil de compréhension	128
Le modèle : entre pédagogie et conception	132
Chapitre 4 : Enseigner avec les théâtres de machines	137
Les mathématiques mixtes au collège de la Trinité à Lyon	138
La bibliothèque	139
L'observatoire et le musée de mathématiques	143
Les écoles d'ingénieurs	147
La bibliothèque de l'école des Ponts et chaussées	147
La bibliothèque de l'école des Mines	149
La bibliothèque centrale de l'école Polytechnique	151
Quelle place pour les théâtres de machines dans une science industrielle ?	156
Évacués de la mécanique rationnelle chez Hachette	156
Rendus obsolètes par la mécanique usuelle de Borgnis	160
Partie II : Les premiers théâtres de machines et l'émergence de l'ingénieur (1570-1670)	167
Chapitre 5 : Légitimer la conception de machines	168
Mettre la mécanique en récit	168
Les origines chrétiennes de la mécanique	169
La mécanique et l'Antiquité gréco-romaine : modèles et autorités	172
La mission des ingénieurs	178
Utilité des machines	179
Le plaisir dans les théâtres de machines	184
Les ingénieurs et les autres	186
Le rapport à l'architecture	186
Le meilleur des arts	191
Se défendre contre les « envieux »	194
Chapitre 6 : Mettre en place des codes communs	197
Inventer à la Renaissance	198
La critique du secret	198
Les mathématiques mixtes : au cœur de la mécanique	201
Les mathématiques et les sciences de la nature : définir un lieu médian	204
Perfectionner l'œuvre des Anciens	210
Enrichir les machines par le commentaire	213
La question de la propriété intellectuelle à la Renaissance	215
L'expérience du plagiat	217
Défendre la paternité de ses inventions	219
Quelques bonnes pratiques	223
Chapitre 7 : Ordonner l'invention : la topique inventive	227
La topique, un concept cicéronien	228
Du bon usage des livres de machines	231
Définir le sujet : la pensée par série	233
Des topiques différenciées	239
La topique bessonnienne : du genre aux espèces	242
La topique ramellienne : de la similitude aux conjugués	247
Les lieux communs de l'invention à la Renaissance	255

Le témoignage antique : limiter l'impact du spectaculaire	255
Réduire l'imaginaire technique à l'utilité	258
La nouveauté dans les théâtres de machines	261
L'étendue du vocabulaire technique	264
Du catalogue aux traités	267
Le catalogue de Vittorio Zonca	268
Vers des traités de mécanique	269
Chapitre 8 : Le langage de la mécanique : du témoignage au didactique	274
Montrer la machine	274
Témoigner : fonction principale des images	277
Du dévoilement à la monstration	280
De l'éclaircissement à la logique du catalogue	288
Dire la machine	293
De l'image au texte	293
Neutraliser le vocabulaire des métiers	299
La science mécanique et les machines	305
Partie III : Technologie et théâtres de machines : l'œuvre de Jacob Leupold (1724-1727)	310
Chapitre 9 : Ambition d'une technologie camérale	311
Les <i>Theatri</i> de Leupold et les théâtres de machines	312
Qu'est-ce que la technologie ?	319
Wolff et le modèle d'une technologie qui ne dit pas son nom	321
Insérer la technologie dans le caméralisme	326
Former une classe intermédiaire	331
La figure de l' <i>empiricus</i> : le machiniste	332
La figure du <i>Theoricus</i> : le mathématicien	334
La figure du <i>Practicus</i> : le mécanicien	336
Les croyances des empiristes : obstacle ou motivation ?	341
Chapitre 10 : Une pédagogie technologique, éléments généraux	349
Une méthode d'apprentissage mêlant théorie et pratique	349
Rendre compte des savoirs connus	352
De la théorie aux machines, organisation de la collection	357
Définir des référents et leurs parties	361
Le défi du langage	364
Le rôle de l'image	368
Exercer le lecteur	375
Quelques « maximes »	375
Des outils directement mobilisables	377
Exercices de calcul	379
Répéter les informations	381
Chapitre 11 : Enseigner une théorie des machines	383
La <i>statique</i> comme fondement	383
Le principe du levier d'après Leupold	384
Du levier aux machines simples	387
De la théorie à la pratique	389

Le double rôle des expériences.....	390
Du concept à l'objet : fabriquer les mécanismes	396
De la pratique à la théorie.....	398
Vitesse et puissance, point mort de la science	399
Le frottement : de la science aux machines.....	401
Calculer les moteurs, une méthode d'ingénieur.....	408
Chapitre 12 : Concevoir et gérer les machines.....	414
Qu'est-ce qu'une bonne machine ? L'utilité selon Leupold.....	414
Calculer la machine sur le papier, l'exemple de la pompe de Freiberg.....	419
« Plusieurs règles pour la mécanique ».....	424
Une bibliothèque de situations	429
Décrire des machines.....	430
Améliorer l'ancien.....	434
Les sources de Leupold	436
Leupold, l'ancien, et le nouveau	438
Régler la conception ?	440
La conception réglée allemande selon la théorie C/K.....	441
Le raisonnement de Leupold formalisé selon la théorie C/K	445
Conclusion.....	451
Index des figures	457
Index des tableaux	461
Bibliographie	463
<i>Autres sources.....</i>	<i>463</i>
Archives	463
Ouvrages consultés (XV ^e -XIX ^e).....	463
<i>Outils de travail.....</i>	<i>468</i>
Dictionnaires, dictionnaires biographiques et recueils de références	468
Histoires générales des techniques	469
Sites internet de référence.....	469
<i>Outils conceptuels.....</i>	<i>469</i>
Sur les méthodes historiques et l'écriture d'une thèse	469
Sur l'histoire des techniques	470
Sur l'analyse des textes et des images	471
Sur la réduction en art, la topique, la technologie	472
Sur l'invention et la conception.....	473
Autres concepts traités	473
<i>Contexte.....</i>	<i>475</i>
Moyen Âge et Renaissance	475
XVII ^e -XVIII ^e siècles	477
<i>Ouvrages spécialisés.....</i>	<i>481</i>
Histoire du livre, des bibliothèques, de la bibliophilie, des modèles et des cabinets de curiosités.....	481
Sur la littérature mécanique et les théâtres de machines	484

Voir et concevoir : les théâtres de machines (XVI^e-XVIII^e siècle)

Mots-clés : histoire des techniques, ingénieur, conception, invention, machines, modèles, topique, technologie, histoire du livre.

Résumé :

Les théâtres de machines, ces livres montrant en séries des treuils, des grues, des pompes et des moulins, ont été largement sous-estimés par l'historiographie. Pourtant ils influencèrent la conception de machines jusqu'au XIX^e siècle. Cette thèse analyse les évolutions du genre et de sa réception dans les divers pays d'Europe entre XVI^e et XVIII^e siècle. Cette histoire met à jour la lente construction d'une pensée européenne sur les machines, une pensée conceptuelle à la fois technique et sociétale. Artifice du génie humain, la machine suscite fantasmes, craintes et espoirs, ce qui incite les auteurs à développer une pédagogie neuve. Au cœur de ces problématiques : une tension entre la complexité des machines et un savoir mécanique incomplet, entre matérialité et théorie, entre montrer et rendre compte, entre voir et concevoir la machine dans sa matérialité et ses enjeux.

Seeing and designing: Theaters of machines (16th-18th century)

Key-words: history of technology, engineer, design, invention, machines, models, topics(loci), technology, history of books.

Summary:

Theaters of machines --books showing sets of windlasses, cranes, pumps and mills-- have been underestimated to a large extent by historiography. Yet, they have influenced the conception of machines up to the 19th century. This thesis analyses the evolution of this category of books and its reception in various European countries between the 16th and 18th centuries. This work presents the development of a European conception of machines that is both technical as well as social. Artifices of human ingenuity, machines generate fantasies, fears and hopes, prompting the authors to develop a new course of teaching. At the heart of these issues lies a tension between the complexity of the machinery and an incomplete mechanical knowledge, between materiality and theory, between presenting and reporting, between seeing and designing the machine within its materiality and challenges.